نهاية
كل شيء



كريس إمبي

نهاية كل شيء

نهاية كل شيء

من الإنسان إلى الكون

تأليف
كريس إمبي

ترجمة
إيناس المغربي

مراجعة
محمد فتحي خضر



نهاية كل شيء

How It Ends

كريس إمبي

Chris Impey

الطبعة الأولى ٢٠١٤م
رقم إيداع ٢٠١٣/٤٨٢١
جميع الحقوق محفوظة للناشر مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
المشهرة برقم ٨٨٦٢ بتاريخ ٢٦ / ٨ / ٢٠١٢

مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
إن مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه
٥٤ عمارات الفتح، حي السفارات، مدينة نصر ١١٤٧١، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥٢ + **فاكس:** ٢٠٢ ٣٥٣٦٥٨٥٣ +
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: http://www.hindawi.org

إمبي، كريس.
نهاية كل شيء: من الإنسان إلى الكون/تأليف كريس إمبي.
تدمك: ٩٧٨ ٩٧٧ ٧١٩ ٢٥٢ ١

١-الموت (فلسفة)

أ-العنوان

١٢٨,٥

تصميم الغلاف: إسلام الشيمي.

المحتويات

ثناء على كتاب «نهاية كل شيء»	٧
تمهيد	١١
١- للنهايات طابع شخصي	١٥
٢- كل الأشياء الطيبة لا بد أن تنقضي	٤١
٣- مستقبل البشرية	٦٩
٤- ما وراء الانتخاب الطبيعي	٩٧
٥- نسيج الحياة	١١٩
٦- الأخطار التي تهدد المحيط الحيوي	١٤٥
٧- العيش في مجموعة شمسية	١٧١
٨- موت الشمس	١٩٩
٩- موطننا المجرِّي	٢٢٣
١٠- شيخوخة مجرة درب التبانة	٢٤٩
١١- نهاية الكون	٢٧١
١٢- ما بعد النهايات	٢٩٧
مسرد مصطلحات	٣١٩
ملاحظات	٣٢٩
قائمة المراجع	٣٥٩

ثناء على كتاب «نهاية كل شيء»

«لا شك أن هذا الكتاب يزخر بعدد وافر من القصص المثيرة الممتعة المنتقاة بعناية … لقد انتهيت من قراءته وعقلي يجيش بالحيوية بكل ما تحمله الكلمة من معنى.»

بول واين، توصن ويكلي

«كتاب ممتع في قراءته … ومع أن موضوعه قد يبدو محبطًا، فقد بث إمبي روح المرح بين صفحاته … يوصى به للمتحمسين لعلم الفلك وغيره من العلوم.»

نانسي آر كيرتس، ليبراري جورنال

«كتاب ملهم بلا حدود؛ يصف على نحو ممتع ما توصل إليه البشر بالفعل عن الكون وموضع الحياة داخله. بالاعتماد على كتابات قديمة وأخرى معاصرة، يقدم الكتاب أمثلة على ما تستطيع الروح البشرية تحقيقه مع مرور الزمن القاسي. وبفضل الرؤية التي يتمتع بها إمبي بشأن دور العلم في الدراما الإنسانية، أمدَّ قرَّاءه بالأمل في أن الروح نفسها التي أبلت بلاءً حسنًا في الماضي ربما تساعدنا على البقاء في المستقبل … بين يدي إمبي ينبض المستقبل بالحياة وينادينا. إنه كتاب يأسر الألباب، ولا يثير الشعور بالكآبة.»

مايكل بروكس، نيو ساينتيست

«يقدم هذا الكتاب معلومات شديدة الروعة وسهلة الفهم ... وهو يحقق الغرض منه؛ فهو يوفر المتعة والمعرفة دون وعظ أو تفضُّل ... من خلال هذا الكتاب حقق [إمبي] معجزةً حقيقيةً؛ إذ تَفرُغ من قراءته وأنت أكثر سعادة مما كنتَ عليه عندما شرعتَ في قراءته.»

باتريك نيل، ذي بوكسيلر

«كتاب ممتع يتناول مجموعة متنوعة من الموضوعات، مع قدر من اللهو المسلي.»

جيف فاوست، ذي سبيس ريفيو

إلى كيه

دون بداية، لا نهاية

تمهيد

بقلم كريس إمبي

«يتألف الكون من قصص، لا من ذرات»، هكذا قالت الشاعرة والناشطة السياسية موريل روكيسير، وأنا أوافقها الرأي. من أعظم الخرافات المنسوجة حول العلم أنه لا يحوي أكثر من حقائق جامدة مملة، لكن تتبدد هذه الخرافة أمام القصص القوية التي نسجها العلم لمساعدتنا على تنظيم العالم وفهمه؛ فبين يدينا قصة عن كيفية تطور الكون من نقطة صغيرة للزمكان إلى كون عظيم يضم ٥٠ مليار مجرة. لدينا أيضًا قصة تحوُّل حساء الجزيئات الموجود على الأرض البدائية إلى حياة من لحم ودم، ولدينا أيضًا قصة عن تطور نوع واحد من ملايين الأنواع بحيث صار قادرًا على استيعاب الخمسين مليار مجرة داخل رأسه.

هذا كتاب عن النهايات. يخبرنا العلم في الغالب عن الكيفية التي آلت بها الأشياء إلى ما هي عليه، لكن لو وقفنا عند حد يومنا الحالي، فلن نكون قد أنجزنا سوى نصف المهمة؛ إذ تحتاج كل قصة جيدة لأن يكون لها نهاية. إن التعليل مريح، لكن كما قال رسام الكاريكاتير الدنماركي ستورم بيترسن ذات مرة: «إن التنبؤ شيء صعب للغاية، وخصوصًا إن كان عن المستقبل.» نتيجة لذلك، تضرب مادة هذا الكتاب بجذور راسخة في الواقع، لكنها تمتد إلى التخمين. فالعلماء يسيرون نحو الحد الفاصل بين ما يعرفونه وما لا يعرفونه؛ فهناك تكمن الإثارة. وعلى الرغم من احتواء الكتاب على قدر كبير من التخمين، فإني أتمنى أن يجني القارئ الفائدة من الوقت الذي استثمره في قراءته.

تتسع مادة الكتاب في نطاقها من الإنسان إلى الكون، ويتدرج نطاقها الزمني من القريب إلى الأبدي. في أول فصلين نواجه حقيقة الموت، ثم نتفكر في طريقة فراقنا للحياة. يتطرق الفصل الثالث للأخطار التي تواجه الإنسانية، ثم يتناول الفصل الرابع المصير المحتمل لنوعنا البشري. البشر قردة مشاكسة، لديها من الطاقة ما يفوق الحكمة، وربما لم يجتازوا في تطورهم فترة المراهقة العصيبة بعد، لكن الحالمين منهم يتخيلون طرقًا يمكننا بها تخطي حدود علم الأحياء. يدرس الفصل الخامس كيفية ارتباطنا بالمحيط الحيوي، ثم يتطرق الفصل الذي يليه للأخطار التي تهدد النظام البيئي بأكمله. وفي كل هذا، تظل ذراتنا جزءًا من القصة.

في النصف الثاني من القصة ننتقل إلى الصورة الكبرى للمستقبل؛ فأفضل مكان يمكن أن نأمل في اللجوء إليه إن أفسدنا كوكبنا هو كوكب آخر شبيه به، ومن المحتمل أن توجد ملايين الكواكب المماثلة للأرض خارج المجموعة الشمسية. قد يكون الخروج عن حدود كوكب الأرض السبيل الوحيد كي تستمر قصتنا مليارات الأعوام. وبعد التطرق للكواكب الصالحة للحياة ومصير الشمس، تتجه القصة إلى مدينتنا — مجرة درب التبانة — وتطالع المصير العجيب لقاطنيها من النجوم. وفي النهاية نتوقع مصير الكون ونفكر في احتمالية ألا تكون هذه الملحمة التي دامت ١٤ مليار عام حقيقية، أو احتمالية أن تكون واحدة لا أكثر من قصص عديدة نسجها الزمان والمكان.

قد تكون هذه القصص غير مألوفة، لكنها تدور عنا نحن البشر. وحتى عند النظر إلى مكاننا بين المجرات، ثمة جوانب من الكون تؤدي إلى وجودنا. قد لا يكون الكون متنبهًا لنا، لكنه هيَّأ الظروف لنا وكأنه كان على علم بقدومنا. الزمن هو المقياس الذي تعتمد عليه تلك القصص. وسوف نتتبعه بدءًا من لحظة مولد المجرة وعلى امتداد الـ $١٠^{٨٠}$ أعوام التي تستغرقها حتى تتلاشى. ويذكرنا عالم الفيزياء جون ويلر بأننا نأخذ الزمن أمرًا مسلمًا به ولا نقدره حق قدره عندما قال: «إن الزمن هو الذي يمنع الأحداث من الوقوع جميعها دفعة واحدة.»

هذا الكتاب موجَّه إلى القارئ العادي، وقد حاولت الإقلال من المصطلحات المتخصصة فيه قدر ما استطعت؛ فأوردت تعريفًا بالمصطلحات الجوهرية في مسرد المصطلحات، وعلاوة على ذلك، وضعت التفاصيل الفنية والملاحظات الجانبية في الملاحظات الختامية. تكتسب القصة التي يقدِّمها الكتاب قدرًا من الحيوية من خلال الحكايات التي تَرِد في بداية كل فصل، والسِّيَر المصغرة لأبرز الباحثين، وحتى من خلال بعض النوادر الشخصية،

وجميعها يفيد كرسائل تذكير بأن العلم هو نشاط إنساني بالأساس، وأنه معقَّد وغير كامل شأن البشر أنفسهم.

الجميع يحبون النهاية السعيدة، لكن هذه النهايات تكون مستساغة أكثر عندما تكون خيالية، مثل التنفيس العاطفي بنهاية أحد الكتب أو الأفلام الرائعة، حين يتبدد التوتر وتُحْسم كل الأمور المعلقة تمامًا. أما هذا الكتاب فهو واقعي، ويتحدث عن النهاية الفعلية لكوكبنا ونجمنا ومجرتنا و«نهايتنا». ومع ذلك فلا تدع الإحباط يصيبك؛ لأن الكون مليء بالاحتمالات العظيمة.

أخذني مشروع هذا الكتاب بعيدًا عن حدود تدريبي ودراستي العادية، ودفعني لأطرق أبواب علم الكيمياء والجيولوجيا والأحياء والاجتماع. وقد استفدت من المحادثات التي دارت مع فريد آدامز ونيك بوستروم وكارول كليلاند وفرانك دريك وكارلوس فرينك وأندريا جيز وريتشارد جوت وديفيد جرينسبون وفيل هوبكنز وليزا كالتنيجر ومايكل كيرل وراي كرزويل وكريستوفر ماكاي وكاتي بيلاتشوفسكي ومارتن ريس والزملاء من جميع أنحاء جامعة أريزونا. وأي أخطاء ناتجة عن عدم تمكني من مجال غريب عليَّ، أو توغلي فيه أكثر مما يلزم، أنا الملوم عليها وحدي.

استعنت بشبكة الإنترنت استعانة كبيرة؛ لذا أود أن أتوجه بالشكر إلى سيرجي برين ولاري بيدج لإتاحة مليار صفحة ويب مفهرسة بين يديَّ. وإن كان يسفر بحثهما عن إجابة عن أي سؤال كنت أطرحه، فقد حققا معجزة بالفعل. وأشعر بالامتنان لمؤسسة تمبلتون لتمويل هذا المشروع الذي جعلني أقابل العديد من الأشخاص الوارد ذكرهم في هذا الكتاب، وكذلك للمؤسسة الوطنية العلمية ووكالة ناسا لتمويلهما بحثي عن علم النهايات من البداية للنهاية. أقر بالتقدير أيضًا لبيئة العمل الهادئة الباعثة على التفكير المميزة لمركز آسبن للفيزياء، حيث ألفت عددًا من فصول الكتاب. وأوجه الشكر إلى آنا جوش لإرشادي عبر عالم النشر والعثور على ناشرين جيدين لعملي. أكنُّ التقدير أيضًا لأنجيلا فون دير ليب في نورتون للإرشاد الذي أمدَّتني به. وأشعر بالامتنان لجميع أصدقائي في كل مكان لمساندتهم لي وإعادتي إلى عالم الواقع عندما كنت أغوص تمامًا في عالم الكتابة.

توصن، أريزونا

يوليو ٢٠٠٩

الفصل الأول

للنهايات طابع شخصي

كانت باتي رينولدز قاب قوسين أو أدنى من الموت، لكنها عاشت وحكت لنا الحكاية. في عام ١٩٩١ كانت المغنية وكاتبة الأغاني الشابة تروِّج لأسطوانتها الموسيقية مع زوجها حين عجزت فجأة عن الكلام. أظهر التصوير بالرنين المغناطيسي أنها تعاني تمددًا وعائيًّا في جذع المخ. كان دماغها ينزف فعليًّا، محوِّلًا إياها إلى قنبلة موقوتة.

في غضون أيامٍ برَّد جرَّاح شاب في أريزونا جسدها عند درجة ٦٠ فهرنهايت، ونزح الدم من رأسها مثلما يُنزح الزيت من حوض الزيت في محرِّك السيارة. كان هذا الإجراء الخطير — الذي يُطلق عليه «توقُّف القلب» — مقدمة لإيقاف التمدد الوعائي وإعادتها من حافة الهلاك. حينها قال الجرَّاح، واسمه روبرت سبتزلر، إن باتي كانت تمر بغيبوبة شديدة، وإنه بصعوبة يمكن اعتبارها على قيد الحياة. غُطِّيت عينا باتي أثناء العملية الجراحية بشريط لاصق، وسُدَّت أذناها بسماعات عازلة للصوت.

عندئذ — حسب تعبيرها — خرجت باتي من رأسها. كانت تحلق في أعلى الغرفة، ونظرت لأسفل فرأت ٢٠ شخصًا يحيطون بها حول طاولة العمليات. سمعت صوت مثقاب طبيب أسنان وحديث الجرَّاح وإحدى الممرضات. رأت نفقًا وضوءًا ساطعًا، وتحدَّثت إلى عمِّها وجدَّتها المتوفَّيَين. وبينما كان الأطباء «يعيدون تشغيل قلبها» قرع أذنيها عزف أغنية «فندق كاليفورنيا» لفريق إيجلز داخل مسرح العمليات، وسعدت كثيرًا بالمفارقة التي يحملها جزء الأغنية الذي يقول: «يمكنك أن تدفع الحساب في أي وقت تشاء، لكن لا يمكنك الرحيل أبدًا.»

ظنَّت باتي أنها كانت في حالة من الهذيان، لكن الشهود وسجلات المستشفى أكدوا صحة جميع التفاصيل فيما بعد. كيف تسنَّى لها أن ترى تلك الأشياء وهي

ترقد على عربة المستشفى ذات العجلات وقد توقفت أجهزة جسدها عن العمل؟ أكد سبتزلر أنه ليس لديه أي تفسير علمي لما حدث. يرى المتشككون أن الوعي بتجربة الاقتراب من الموت والصور المرتبطة بها التي صارت من فرط تكرارها مبتذلة — الأنفاق والأضواء الساطعة — هي أعراض لتغيُّر وظائف المخ بسبب النقص الحاد في الأكسجين.

لكن الإفادات المتكررة عن تجربة الاقتراب من الموت تحوي أمثلة تتشكَّل فيها الذكريات الواعية على الرغم من انخفاض النشاط الكهربائي للمخ إلى مستوى لا يمكن رصده، وهو ما يثير هذا السؤال: حين يتوقف المخ عن العمل، أين يذهب العقل؟

* * *

(١) هذا كل ما في الأمر يا رفاق

(١-١) مواجهة المحتوم

في صباح بعض الأيام، أثناء تناولي للقهوة، يعكس قناع ذهبي معلق على حائط حجرة معيشتي نور الصباح الباكر. الوجه ساكنٌ والأنف مستقيمٌ أشم والعينان نصف مغمضتين. إنه أجاممنون، قائد الجيش اليوناني أثناء حرب طروادة. كان القناع الأصلي قد اكْتُشِفَ على يد هينريتش شليمان عام ١٨٧٦ في مقبرة بمدينة مايسيني، وهو الاكتشاف الذي ساعد في إقناع العلماء بأن القصص الملحمية التي رواها هوميروس منذ أكثر من ثلاثة آلاف عام مثَّلت أحداثًا حقيقية وأشخاصًا حقيقيين.

بإنعام النظر في سكينة أجاممنون، تبدو حتمية الموت باعثة على السعادة. فيا لها من منزلة رفيعة أن يموت المرء ملكًا ومحاربًا! غير أن أجاممنون لم يكن خاليًا من العيوب، مثله مثل جميع أبطال الإغريق؛ فقد قدَّم ابنته إفيجينيا قربانًا للآلهة قبل أن يُبحر إلى طروادة، وكان يتشاجر مع أخيل باستمرار، لكنه في النهاية قاد اليونانيين إلى النصر، وقام بالعديد من الأعمال البطولية في ساحة القتال، وعاد إلى وطنه منتصرًا مع خليلته، كاساندرا، التي أُسرت في الحرب. في تلك الأثناء كانت زوجته كليتمنسترا قد اتخذت عشيقها الخاص، وقُتل أجاممنون غدرًا في مأدبة أقيمت على شرفه.

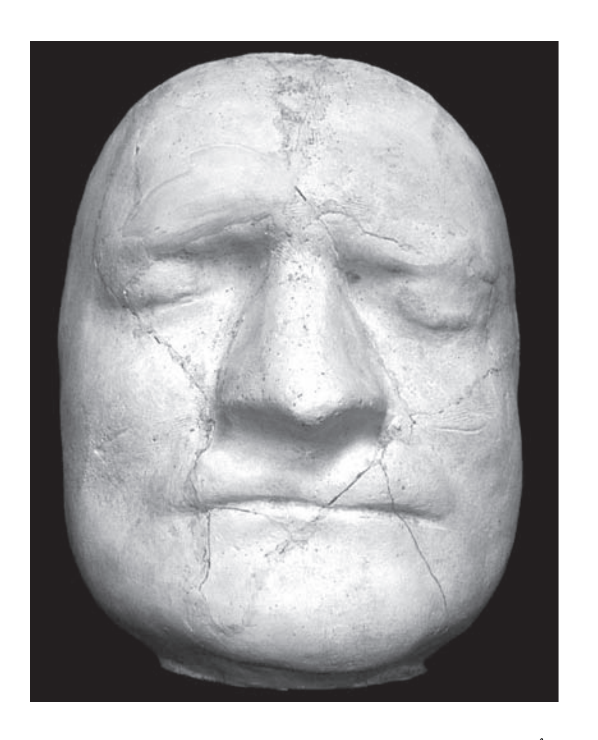
سنموت جميعًا، ومن الطبيعي أن نعلِّق الآمال على موت بطولي أو درامي، لكن مع أن قناع أجاممنون يسطع مشرقًا، فإنه محض وهم؛ إذ اتضح لاحقًا أن مقابر مدينة مايسيني كانت قد شيدت قبل ٣٠٠ عام من التاريخ المقدَّر لحرب طروادة. والقناع الذهبي شديد الروعة، حتى إنه ربما يكون تصويرًا لأحد النبلاء أو الملوك، لكن ليس هناك دليل على أنه يمثِّل شخصية أجاممنون التاريخية، بل ثمة شك قوي بأن شليمان وضع القناع في موقع المقبرة لكي يضفي مزيدًا من البريق إلى شهرته.[١] أيضًا ثمة روايات أخرى عديدة عن كيفية موته؛ فقد ذكر الشاعر بندار في إحدى كتاباته أن أجاممنون قُتل في حوض الاستحمام الخاص به على يد زوجته، بعد أن ألقت ببطانية فوقه كي تمنع أي مقاومة منه.

ستتباين بالمثل المِيتات التي سنلاقيها؛ فقليلون منا سيلاقون ميتة سريعة ومؤثرة، مثل جيمس دين الذي مات جراء تصادم سيارتين بالمواجهة في الرابعة والعشرين من عمره، أو المُعلمة كريستا ماكاوليف التي قضت نحبها مع انفجار مكوك الفضاء «تشالنجر» بعد مرور ٧٣ ثانية على إطلاقه. إن أخشى ما نخشاه هو أن تَبلى أجسادنا بلاءً مؤلمًا وتخذلنا خذلانًا مبينًا، أو أن تتحلل عقولنا تحللًا بطيئًا. فالحياة، لسوء الطالع، نادرًا ما تحاكي الفن. ولو جسِّدت الحياة في فيلم سينمائي، لن تنتهي بمشهد تبلغ فيه الأحداث الذروة، بل الأغلب أن تتشوش الصورة وتَبلى وينسى الممثلون الأسطر التي يرددونها. ولو كانت الحياة مثل حفلة موسيقية، فلن تنتهي بفقرة تصعيدية، بل الأغلب أن تفقد الآلات الموسيقية تناغمها، وتختلط الأمور في عقول العازفين، ويذهب صوت الموسيقى شيئًا فشيئًا (الشكل ١-١).

كي نبدأ هذا الاستكشاف للنهايات، لا بد لنا أن نقرَّ بعقبة زوالنا ونتجاوزها. يبدو الأمر جائرًا للغاية؛ فجميع أحلامنا وآمالنا قد تنتهي بسبب حافلة انحرفت عن طريقها ونحن في سن الأربعين، أو ربما بسبب ورم خبيث يداهمنا في سن الثمانين. أحيانًا يكون الإنجاز البشري بارزًا، لكن في النهاية لا طائل منه أمام نتيجة حتمية. والشيء الوحيد غير المؤكد، إلا في حالات الانتحار، هو الطريقة التي سنموت بها.

(١-٢) فن الموت

تسبَّب تفكير البشر فيما لا يمكن تصوره — ما أطلق عليه رابيليه اسم «نطاق الاحتمالية الشاسع» — في غياب النوم عن جفونهم لليالٍ عديدة، لكنه حفَّز بعضًا من أعظم إبداعاتهم.



شكل ١-١: لم تُنحت أقنعة الموت العتيقة — كقناعي أجاممنون وتوت عنخ آمون — بالاستعانة بوجه المتوفى. وفي وقت إسحاق نيوتن، كانت صور واقعية للمشاهير تُنحت من خلال الاستعانة بتماثيل الشمع أو قوالب تماثلها من الشمع أو الجبس. يظهر في الشكل نسخة من قناع أصلي لإسحاق نيوتن تحتفظ به الجمعية الملكية بلندن. (Crawford Collection, Royal Observatory Edinburgh)

وقد استحوذ الموت على عقول الكتَّاب وخيالهم، بدءًا من رثاء الملك لير لابنته كورديليا، حتى تأملات توماس بينشون الملحمية في «جاذبية قوس قزح». أيضًا للموت حضورٌ طاغٍ في كثير من أفضل الأعمال النثرية والشعرية والمسرحية المؤلَّفة على امتداد القرن الماضي، فتارة يكون رمزيًّا واستعاريًّا، وأخرى يكون هادئًا وساخرًا، وتارة ثالثة يكون مثيرًا للمشاعر وتطهيريًّا.

كثيرًا ما يوظِّف الأدب الموت كوسيلة للتأمل في شئون الحياة وطبيعة الوجود ونقدها؛ فمسرحية «بلدتنا» لثورنتن وايلدر تستغل سرعة زوال الحياة في تذكيرنا تذكرة لطيفة بالعجائب اليومية التي تحيط بنا. أيضًا يأتي كتاب «والدن» لهنري ثورو برؤية مماثلة مستمدة من مناجاة الطبيعة. وكذلك واجه إيفان إيليش أحد أبطال الروائي ليو تولستوي داءً عضالًا واستطاع التأقلم مع محنته عن طريق طلب العون. وبالمثل، يكاد الاهتمام بفكرة الفَناء يستحوذ على أحداث روايات الكاتبين فرانز كافكا وديفيد هربرت لورنس ومسرحيات الكاتبين يوجين أونيل وتينيسي ويليامز. ويذهب الشعر إلى أبعد من ذلك متعمقًا في الموضوع حتى يصل إلى جوهره الأساسي. ولا شك أن إدراكنا لكتابات الشاعرتين سيلفيا بلاث وآن سيكستون قد ازداد عمقًا بمعرفتنا بأنهما قد انتحرتا.

إن الفناء حقيقةٌ بديهية وأمرٌ محظورٌ الحديث عنه في الوقت نفسه؛ فالدول الغربية تتبنى موقف إنكارٍ حذرٍ للموت الفعلي؛ مفضِّلة ضروب التجسيد التقليدية والمصطنعة في وسائل الإعلام. مع ذلك، على مدار الجزء الأكبر من التاريخ الإنساني، وفي الدول الفقيرة إلى اليوم الحالي، جرت العادة على النظر إلى الموت والحياة على أنهما عمليتان طبيعيتان، بل جزء من سلسلة متصلة. لم يكن الموت يُنَحَّى جانبًا، بل كان أمرًا حقيقيًّا ومهمًّا. وخشية أن ينساه أي شخص، كان هناك رسائل تذكير متواصلة؛ فكان القادة العسكريون المنتصرون في الإمبراطورية الرومانية يسيرون في مواكب انتصار رفقة عبيد يرددون «تذكروا، أنتم فانون». وفي العصور الوسطى كانت رسائل التذكير تلك مصطبغة بطابع أخلاقي مثلما في التماثيل العاجية التي كانت تجسِّد امرأة جميلة في جانب من التمثال وجثمان متعفن في الجانب الآخر.

تُظهر الثقافة الغربية الحديثة رؤية مزدوجة غير صحية للفناء؛ فهي، من ناحية، تشحذ هوسنا بالشباب ومتع الحياة الزائلة، ومن ناحية أخرى تداهمنا بصور عن العنف والتشويه الحقيقيَّين والمصطنعَين. وفي ذلك مفارقة؛ لأن التجسيد الصادم للموت لا يفيد قط في التقليل من غموضه؛ فنفقد براءتنا دون أن نجني شيئًا في المقابل. وإذا أخذنا أفلام والت ديزني مثالًا، نجد أن موت والدة بامبي أُشيرَ إليه إشارة بسيطة فقط، لكن بعد مرور ٥٠ عامًا في فيلم «الأسد الملك»، صُوِّرت وفاة موفاسا على نحو تفصيلي لا يترك الكثير للخيال. وذروة هذا التعاقب هو ألعاب فيديو «التصويب من منظور الشخص ذاته» التي تسود فيها الواقعية ويرى اللاعبون دماء منافسيهم وهي تتطاير.[٢]

في الفن، يتطلب التحديق في الموت عينًا ثاقبة شجاعة؛ لأن الشعور الناتج غالبًا يكون كئيبًا مبكيًا. لقد حلَّت الواقعية محل رقَّة الاستعارة التقليدية، وها هي الجمجمة المكسوة

بقشور الماس للفنان داميان هيرست قد بيعت في مزاد مقابل مبلغ مذهل بلغ ١٠٠ مليون دولار، وأيضًا شاهد ٢٥ مليون شخص في جميع أنحاء العالم مجموعة جونتر فون هاجن المتنقلة من الجثث المتحللة. ولا يجب أن نندهش من بحث جريجور شنايدر عن متطوعين لديهم الاستعداد للموت في معرض للفنون.

عندما تزداد الأمور كآبة، يمكننا العودة إلى العبارات الساخرة والأقوال المأثورة كنكات وودي آلن، أو ذلك التعليق الذي أبداه آرت باكوالد وهو يعاني فشلًا كلويًّا مميتًا وقال فيه: «الموت سهلٌ، أما إيقاف السيارات في ساحة الانتظار فهو صعب.» وفي عالم الرسوم المتحركة ذي الشقوق المؤلمة والصخور القاسية، يعود ذئب القيوط وطائر عدَّاء الطريق إلى الحياة بصورة لا نهائية (مع أنه في كل مرة ربما يكون القيوط أو عدَّاء الطريق مختلفًا)، لكن قبل أن نغلق أعيننا يظهر الأرنب المشاغب ليخبرنا بألا نأخذ الأمر بجدية شديدة.

(١-٣) الحديث عن النهايات

هل هناك موت مثالي؟ قد يكون الموت في أفضل أشكاله مستحقًّا على نحو قاسٍ، كما هو الحال مع مفجري السيارات المفخخة من منظمة الجيش الجمهوري الأيرلندي، أو مفجري حزب الله الانتحاريين، أو قد يحمِل مصادفةً من الناحية العددية؛ كما حدث مع لاعب الشطرنج المحترف بوبي فيشر الذي مات في الرابعة والستين من عمره (وهو عدد مربعات رقعة الشطرنج)، أو قد يحمل لمسة تراجيدية كوميدية؛ كما حدث مع الممثل هارولد نورمان الذي لقي حتفه عام ١٩٤٧ أثناء مبارزة شديدة الحماسة بالسيوف في المشهد الأخير من مسرحية «ماكبث»، أو قد يحمل الموت ملاءمة شعرية؛ كما حدث مع أتيلا الهوني الذي مات ليلة زفافه جراء نزيف في الأنف، أو قد يأتي على عكس ما يتوقع المرء؛ كما في حالة كلٍّ من العدَّاء المحترف جيم فيكس، الذي مات وهو يتمشى، وإرفينج رودال، مؤسس حركة الأغذية العضوية الذي توفي إثر أزمة قلبية داهمته أثناء مقابلة تليفزيونية معه في برنامج «ذي ديك كافيت شو».

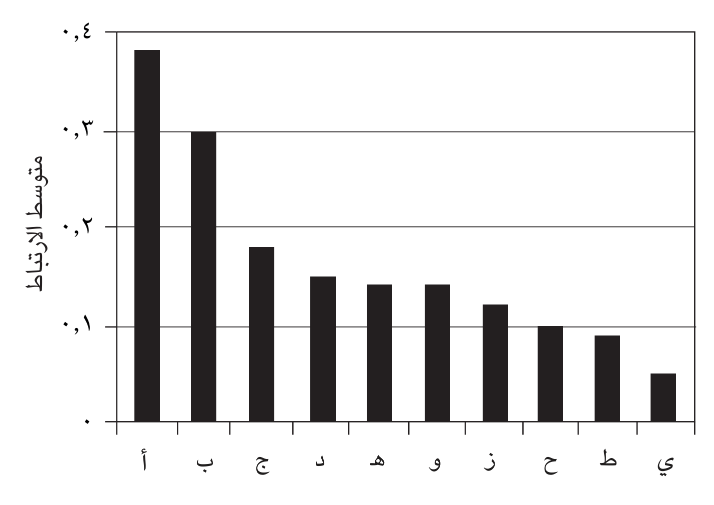
لا يلزم أن يكون تحقيق المثالية شيئًا بطوليًّا، وخير مثال على ذلك هو دون دوان الذي فارق الحياة في صالة بولينج بمدينة رافينا في ولاية ميشيجن عام ٢٠٠٨. كان دون عضوًا بإحدى فرق البولينج المحلية مدة ٤٥ عامًا، لكن في تلك الليلة من شهر أكتوبر

وبعد أن سجَّل لعبته المثالية الأولى بنتيجة ثلاثمائة نقطة، صافح زملاءه في الفريق ثم فارق الحياة إثر أزمة قلبية شديدة.

عادة ما لا يكون الأشخاص الذين يختارون الحديث عن الموت (بخلاف الأطباء ومتعهدي دفن الموتى وخبراء التأمين) هم من يتوقع المرء أن يفعلوا ذلك، فلكي يصدَّ مايك كيرل عن نفسه الأفراد الموهومين بفكرة الموت، يعلن أنه متخصص في الثاناتولوجي (علم دراسة الموت) بحيث لن يدرك أي شخص أنه يتحدث عن الموت سوى من يلمون إلمامًا شديدًا باللغة اليونانية. كيرل أستاذ متقاعد في كلية ترينيتي، وكتب عددًا كبيرًا من الأبحاث عن الموت والاحتضار، وشارك في إعداد ثلاث موسوعات عن هذا الموضوع، وله أيضًا موقع إلكتروني كبير يتحدث عن النهايات، ويستخدمه استخدامًا واسعًا في أعماله التدريسية. هذا المنهج العاقل محل ترحيب؛ لأن إدراكنا لأي تهديد لا يتناسب دومًا مع المخاطر الصحية الفعلية له (الشكل ١-٢).

يرى كيرل أنه ليس مهووسًا بالموت، مع أنه يعترف بوجود أعمال فنية لشخصيات مسلسل «عائلة آدامز» في منزله، إضافة إلى تلقِّيه العديد من شواهد الأضرحة كهدايا في أعياد الكريسماس، وهي تتكدس في الفناء الخلفي لمنزله. (كان قد ألمح لأصدقائه عن إحدى الهدايا التي يفضِّل الحصول عليها، وهي قلم يحمل الحمض النووي للرئيس لينكولن بقيمة ١٦٠٠ دولار فقط.) يعتقد كيرل أن مقت الثقافة الغربية للموت شديد للغاية، ويقول إن الأمريكيين يمثلون «ثقافة تنكر الموت بشدة». ينسحب ذلك حتى على الأشخاص الذين لا بد أن يتعاملوا مع الموت؛ فمن بين ١٢٦ كلية طب في الولايات المتحدة، خمس كليات فقط هي التي فرضت دورات عن الموت والاحتضار. ويقترن هذا الإنكار بإيمان متزايد في الحياة بعد الموت؛ فالنسبة الضئيلة للبالغين الذين يعتقدون بوجود حياة بعد الموت تزايدت من ١٥٪ إلى أكثر من ٤٠٪ في السنوات الثلاثين الماضية.[٣]

تبحَّر المؤلف مايكل لارجو في أغوار موضوع الموت، حتى إنه قال إن أصدقاءه كانوا قلقين بشأنه، لكنه كان يصدهم بمقولة الدالاي لاما: «إن لم تكن مدركًا للموت فستعجز عن الاستفادة من هذه الحياة البشرية المميزة.» ولمَّا كان لارجو ابنًا لضابط شرطة بمدينة نيويورك ومتخصصًا في جرائم القتل، فإنه يقول إن والده اعتاد أن «يشير إلى مبنى إمباير ستيت ويقول إن ارتفاعه يبلغ ألفًا ومائتي قدم، وإن ٦١ شخصًا قفزوا من فوقه؛ فقد اعتاد دائمًا أن يضيف إحدى الحقائق عن الموت إلى حديثه. كان ذلك الشيء الوحيد الذي أستمع إليه، وأدركت أن هناك سبلًا عديدة للموت.»[٤] وقد حول لارجو اهتمامه إلى جرائم



(أ) التدخين وسرطان الرئة

(ب) العنف والعدائية في وسائل الإعلام

(ج) استخدام الواقي الذكري وفيروس نقص المناعة المكتسب المنتقل عن طريق الاتصال الجنسي

(د) التدخين السلبي وسرطان الرئة في أماكن العمل

(هـ) التعرض لمادة الرصاص ودرجات الذكاء لدى الأطفال

(و) لصقة النيكوتين والإقلاع عن التدخين

(ز) حصة الكالسيوم وكتلة العظام

(ح) الفروض المنزلية والإنجاز الأكاديمي

(ط) التعرض لمادة الأسبستوس وسرطان الحنجرة

(ي) الفحص الجسدي الذاتي ومستوى الإصابة بسرطان الثدي

شكل ١-٢: الارتباط بين السلوكيات والتهديدات التي تواجه الصحة العامة في الولايات المتحدة بناءً على استعراض لنتائج خمسين عامًا من الأبحاث أجراه إل رويل هيوسمان من جامعة ميشيجن. وتضم فئة «العنف في وسائل الإعلام» التليفزيون والأفلام وألعاب الفيديو. (L. Rowell Huesmann, University of Michigan)

القتل الغامضة وإلى سلسلة من الكتب الواقعية ليتوَّج تتويجًا غير رسمي بوصفه «ملك الغموض».

قضى لارجو ١٠ سنوات في جمع الإحصائيات والقصص من أجل كتابه الجامع ذي الطابع الكئيب «مخارج أخيرة»، ومع ذلك فهو كتاب ممتع في قراءته، يشير فيه لارجو إلى أن موضوع الموت يزداد تشويقًا. ففي عام ١٧٠٠، كان هناك أقل من مائة سبب للموت مدرجًا في شهادات الوفاة، لكن في الوقت الحالي هناك أكثر من ثلاثة آلاف سبب، حتى الأنشطة الخطيرة والممتعة في العادة أوجدت أنواعًا جديدة من الموت؛ مثل لعبة القفز من الجبال بالمظلات، التي استطاعت أن تجمع بين أخطار التسلق والقفز بالمظلات.

يضمن لارجو أن قرَّاء كتابه سيحظون بعامين إضافيين من الحياة بحد أدنى، مع أن قدرًا قليلًا من التفكير يوضِّح أنه قد يكون من الصعب للغاية إثبات هذا الضمان. يستطيع لارجو أن يُطمئن قراءه — أو يروِّعهم — باحتمالات الموت في باب دوَّار أو على سرير مائي أو أثناء الصلاة أو بسبب الضحك أو الفواق. يقول: «إن الموت أمٌّ متقلبة المزاج.» وحين يضطر إلى تقديم مثال بعينه على غدر القدر، يذكر الرجل الذي نجا من انهيار برجَي مركز التجارة العالمي ثم مات بعد مرور ٣٠ شهرًا في تحطم عبَّارة جزيرة ستاتين الذي أودى بحياة ١٣ شخصًا.

وضع أفلاطون في كتابه «الجمهورية» وأرسطو في كتابه «أخلاق نيكوماكيان» المعيار التقليدي للشجاعة، وهو ملاقاة أحد النبلاء الموت وسط وطيس المعركة، لكن هذا المعيار ضيق للغاية؛ فثمة شجاعة وافرة تظهر في الطرق العديدة التي يلقى البشر بها حتفهم، ويكون الأمر مثيرًا للاهتمام أكثر حين يحدث موقف الموت دون عون من الإيمان الديني.

تدبَّر القصة التي يرويها كاتب السير الذاتية جيمس بوزويل، الذي كان مسيحيًّا مؤمنًا، من فراش موت الفيلسوف البارز ديفيد هيوم، الذي كان ملحدًا، قائلًا: «سألته، هل أشعرتْهُ فكرة الفناء بأي قلق؟ فقال: لا، مطلقًا، ليس أكثر من فكرة أنه لم يكن موجودًا، مثلما قال الشاعر الروماني لوكريتيوس.»[٥] وطبقًا لما قالته آن درويان عند احتضار زوجها الكاتب وعالم الفلك كارل ساجان إثر إصابته بسرطان الدم: «لم يغيِّر عقيدته على فراش الموت ولم يلتمس ملاذًا في اللحظة الأخيرة منخدعًا برؤية مطمئنة لجنة أو حياة بعد الموت. فمن وجهة نظر كارل، كان أكثر الأشياء أهمية هو الحقيقة، وليس ما يشعرنا بحال أفضل. وحتى في هذه اللحظة التي قد يُغفَر فيها لأي شخص التحول عن الحقيقة، ظل كارل صامدًا.»[٦]

(٢) لكل شيء وقته

(٢-١) قليل من التأمل

لننظر إلى دوامة الحياة بقليل من التروي. يبلغ متوسط العمر المتوقع للإنسان عند الولادة في الدول الغربية المتقدمة نحو ٨٠ عامًا، أو ٢٫٥ مليار ثانية. تبدو تلك المدة طويلة للغاية لو نظرنا إليها في ضوء دقَّات الساعة أو الحركة الدائرية الثابتة لعقرب الثواني. فحياتنا تمتد بنسبة ١٪ من التاريخ المسجل، وأقل من ٠٫١٪ من تاريخ «الإنسان العاقل» الحديث حتى الآن. والنمو السكاني الحالي يسبب ضغطًا شديدًا على هذا التاريخ؛ إذ إن معظم الأشخاص الذين عاشوا في أي وقت هم الأحياء الآن.

ومع ذلك، فالبشر هم آخر الوافدين إلى كوكب عتيق؛ فقد زحفت الحيوانات الأولى خروجًا من البحار وبدأت في العيش على اليابسة منذ ٤٠٠ مليون عام. أما أصل الحياة نفسه فيرجع إلى وقت مبكر عن ذلك؛ منذ حوالي ٤ مليارات عام؛ في وقت خلا فيه الغلاف الجوي للأرض من الأكسجين، وكان الحطام المتخلف عن تشكُّل المجموعة الشمسية يضرب سطح الأرض بعنف. وكانت الأرض والمجموعة الشمسية وافدين جددًا على كون شاسع يُئوي مليارات التريليونات من النجوم والكواكب الملازمة لها. وتثبت عمليات رصد الموجات الميكرونية المتخلفة عن الانفجار العظيم المتوهج أن العمر الحالي للكون يبلغ ١٣٫٧ مليار عام.

لفهم هذا المسار الزمني الهائل، دعونا نقلِّص أو نسرِّع من تقدُّم عجلة تاريخ الكون وفق معامل قيمته ١٣٫٧ مليار عام. لنتخيل أن الساعة الآن تدق معلنة انتصاف الليل وبداية عام جديد، وأن الانفجار العظيم وقع في الوقت نفسه العام الماضي. وفق هذا المقياس يكون كوكب الأرض قد تكوَّن في منتصف شهر سبتمبر، وظهرت الخلايا ذات النوى لأول مرة في منتصف شهر نوفمبر، وبدأت الحيوانات في استعمار اليابسة في الحادي والعشرين من ديسمبر، وتطور أول أفراد النوع البشري قبل ساعة ونصف فقط من منتصف ليلة الحادي والثلاثين من شهر ديسمبر، وظهر عصر النهضة بعظمته والثورتان الصناعية والزراعية وعصر الفضاء وتكنولوجيا الكمبيوتر جميعًا في الثانية الأخيرة من هذا العام الكوني.

وفق هذا المقياس لا تشغل حياة أي إنسان أكثر من عُشر ثانية واحدة، ولو كان الكون موجودًا لمدة عام، لما تجاوزت كل آمالنا الشخصية وأحلامنا وطموحاتنا طرفة عين.

وكما يذكِّرنا فيلم «هذه هي فرقة سباينال تاب»، فمن المرجح أننا نعطي أنفسنا أهمية أكبر بكثير مما ينبغي.

(٢-٢) أقدم من التراب

ما أكبر الكائنات الحية سنًّا؟ يمكن للبكتيريا أن تعيش إلى الأبد، لكن كمستعمرة فقط، وتقع الخلايا الجذعية والأمشجة في الفئة نفسها. وتعد الأوليات من الحيوانات، لكنها تتكاثر عن طريق الانقسام من أب واحد. ومحل اهتمامنا هنا هو الأفراد الذين ينشئون عن التكاثر الجنسي، وسنبدي اهتمامًا أقل بمجموعات الكائنات الحية المتطابقة جينيًّا. ولأن التربة يمكن أن تتكون في زمن لا يتجاوز بضعة آلاف من السنوات، فبعض هذه الكائنات أكبر في الحقيقة من التراب سنًّا.

أكبر نبات حي سنًّا هو شجرة صنوبر مخروطية إبرية يُطلق عليها اسم «ميثوزيلا»، وتُبقي مصلحة الغابات الأمريكية على مكانها الدقيق في صحراء موهافي سرًّا؛ كي تحميها من التخريب. وقد احتفلت شجرة ميثوزيلا (لكن دون صخب شديد) في عام ٢٠٠٨ بمرور ٤٨٤٠ عامًا على ميلادها. ثمة نباتات أقدم موجودة بمستعمرات متطابقة الجينات تنبثق فيها براعم جديدة من مجموع جذري معمِّر، مع أن البراعم القديمة الأصلية اختفت منذ زمن طويل.[٧] وقد عاشت شجيرة مزهرة موجودة أيضًا في صحراء موهافي لما يزيد عن ١١ ألف عام؛ إذ نشأت صغيرة ثم نمت للخارج على شكل دائرة. وفي السويد هناك شجرة راتينجية ترسخ مجموعها الجذري لأول مرة في نهاية العصر الجليدي الأخير؛ أي قبل ٩٥٠٠ عام. وهناك شجرة فريدة تنتشر على مساحة أكثر من كيلومتر في غابة تسمانيا المطيرة تبلغ من العمر ٤٣٦٠٠ عام. وتشير التقديرات إلى أن إحدى أيكات شجر الحور الأبيض الموجودة في وسط ولاية يوتا تبلغ من العمر ٨٠ ألف عام. لكن هذه النباتات البرية تتفوق عليها مستعمرة من الحشائش البحرية تحيط بجزيرة إيبيزا الواقعة في البحر المتوسط؛ تبلغ بعض خيوطها المجدولة من العمر ١٠٠ ألف عام.

وسط الكائنات البحرية، إن أردت البحث عن أكبر الكائنات سنًّا، فعليك بذوات الدم البارد. أشارت التقديرات إلى أن عمر أحد حيوانات الإسفنج بطيئة النمو في القطب المتجمد الجنوبي بلغ ١٥٥٠ عامًا. وفي عام ٢٠٠٧، أُخرج بطلينوس عمره ٤٠٥ أعوام من المحيط المتجمد الشمالي، وقد قيس عمره باستخدام طبقات النمو الصدفية التي يطرحها في كل موسم دافئ والمشابِهة لحلقات النمو في الأشجار. كان البطلينوس صغيرًا حين كتب

شكسبير تلك الكلمات في مسرحية «العاصفة»: «على عمق خمس قامات كاملة يقع والدي، ومن عظامه يُصنع المرجان، وتلك هي اللآلئ التي كانت عينيه؛ فلا شيء منه يذبل.» وقد فر البطلينوس من أسرِ النرويجيين المرتحلين إلى أمريكا، الذين سبقت مستوطناتهم وصول الحجاج إلى بلايموث. ولحسن الحظ قاوم الباحثون الذين عثروا عليه إغراء تحويله إلى حساء الشودر.

يمكن للأسماك أيضًا أن تعيش حتى سن كبيرة للغاية، لكنها تتحرك بحرية؛ لذا من الصعب تتبعها. ومع ذلك قضى هاناكو حياته حبيس بركة في مدينة ناجويا في اليابان، وكان من فصيلة أسماك الشبوط، ومات عام ١٩٧٧ عن عمر يبلع ٢٢٦ عامًا. كان رئيس كلية البنات التي عاش فيها هاناكو قد حكى عن الطريقة التي كان يستجيب بها عند سماع اسمه، أو الترحيب الذي كان يبديه عندما يربت أحدهم على رأسه، أو حتى تقبُّله أن يُسحب من الماء لاحتضانه. والسمك الصخري أكثر بعثًا على الحيرة — فعيناه المنتفختان وشفتاه الممتلئتان وفكَّاه يجعلونه غير محبوب من أي شخص — لكنه يمكن أيضًا أن يعيش لأكثر من ٢٠٠ عام. وحتى السمك الذهبي المتواضع يمكنه أن يعيش حتى سن الأربعين.

عادة ما تحمل السلاحف الرقم القياسي لأكبر الحيوانات الحية سنًّا. والسلحفاة الأشهر على الأرجح هي ذكر سلحفاة برية من جزر جالاباجوس قضى معظم حياته في حديقة حيوان أستراليا في مدينة برزبين، وكان اسمه هاري. كان عمر هاري خمسة أعوام وحجمه يماثل حجم طبق العشاء عندما أحضره تشارلز داروين إلى إنجلترا على متن سفينة بيجل. كان حال هاري مثيرًا للشفقة في المناخ الإنجليزي؛ إذ كان مجبرًا على البقاء في حالة بيات شتوي دائمة تقريبًا، ولهذا أُرسل إلى أستراليا. ولمدة قرن ظلت السلاحف الإناث تُودَع في حظيرته المسيَّجة لكن دون أي نتيجة؛ إذ إن أحدًا لم يتكبد مشقة (أو كان باستطاعته) قلب السلحفاة التي تزن ١٣٦ كيلوجرامًا والتحقق من نوعها. كان هاري أنثى، فسُمِّي هارييت. وقد توقفت هارييت عن التزاوج عند سن الخمسين بعد المائة، وظلت تستمتع بنظام غذائي من البقدونس والهندباء والقرع والملفوف الصيني والخبازيِّ، بالإضافة إلى حمام يومي لإزالة ما يتساقط عليها من روث الطيور، حتى وفاتها عام ٢٠٠٦ عن عمر يبلغ ١٧٦ عامًا.

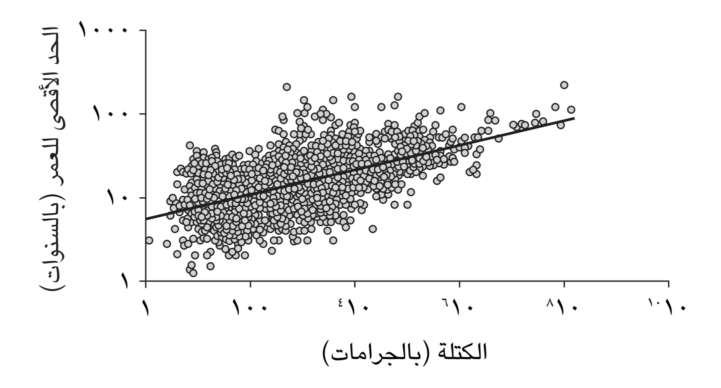
ثمة سلحفاة من فصيلة السلاحف المشعة من مدغشقر عاشت فترة أطول امتدت منذ العام التالي لاستقلال أمريكا وحتى العام التالي لغزو فريق البيتلز لأمريكا. قُدِّمت

هذه السلحفاة، التي يعني اسمها «الملك ماليلا» في لغة التونجا، هدية من القبطان جيمس كوك إلى العائلة الملكية في تونجا عام ١٧٧٧. انبهر سكان تونجا بهذه السلحفاة انبهارًا واضحًا؛ إذ كان قفصها هو أول مكان زارته الملكة إليزابيث الثانية أثناء زيارتها للجزيرة عام ١٩٥٣. وهناك سلحفاة أخرى امتلكها الجنرال روبرت كلايف من شركة الهند الشرقية، ربما عاشت مدة طويلة تصل إلى ٢٥٠ عامًا، لكن عمرها محل جدال. وما من أحد في عجلة من أمره لتحديده.

(٢-٣) الكبير حجمًا أطول عمرًا

يعرف مَن يطالعون باهتمام شديد سجلات حدائق الحيوانات والمرابي المائية في جميع أنحاء العالم منذ وقت طويل وجود علاقة بين حجم الحيوان والحد الأقصى لعمره. ففي تقدير تقريبي بالسنوات، في أوساط الثدييات، تعيش الأفيال حتى سن ٧٠ عامًا، والأسود حتى سن ٣٠ عامًا، والذئاب حتى سن ١٥ عامًا، والأرانب حتى سن ١٠ أعوام، والفئران حتى سن ٥ أعوام. والحد الأقصى لعمر السلاحف العملاقة من الزواحف هو ١٥٠ عامًا، في حين يبلغ ٧٠ عامًا مع التماسيح، و٢٠ عامًا مع الأفاعي السامة. ونرى في الطيور أن صقور البُغاث تبلغ من العمر ١٢٠ عامًا، والببغاوات ٨٠ عامًا، والكناري ٢٠ عامًا، والطنان ١٠ أعوام. والنمط نفسه يشيع بين الأسماك والبرمائيات.[٨]

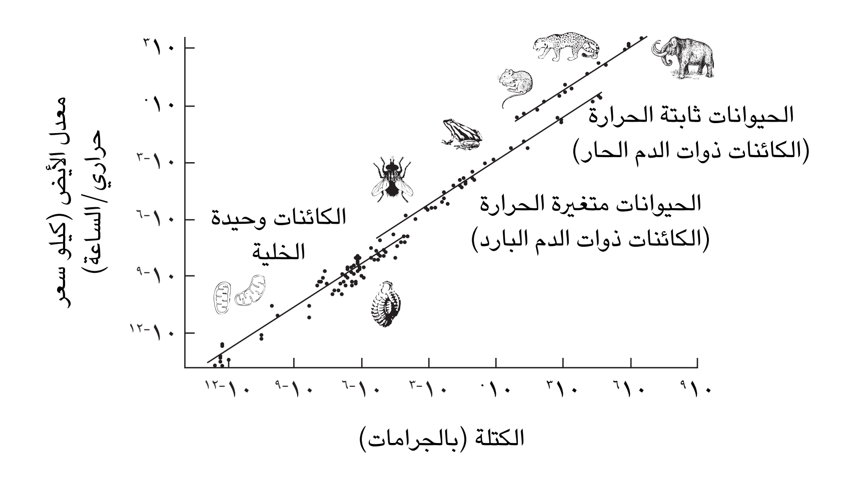
اجمع كل هذه البيانات وسيكون هناك ارتباط خطي بين حجم الجسم لدى البالغين والحد الأقصى للعمر (الشكل ١-٣). ومع ذلك، ثمة معدل تشتت كبير، وهناك بعض الاستثناءات الملحوظة: فالخفافيش وثعابين البحر مثلًا تعيش لفترات أطول مما هو متوقع بالنسبة لحجمها. وتعد القيود البيئية أحد تفسيرات هذا الأمر؛ فالحيوانات الأصغر حجمًا قد تكون أكثر عرضة لخطر الحيوانات المفترسة؛ لذا فهي تموت في المتوسط على نحو أسرع. وثمة نتيجة أخرى معروفة جيدًا لكنها محل جدال، وهي وجود ارتباط بين معدل الأيض وكتلة الجسم (الشكل ١-٤). فنظرًا لأن الحجم أو الكتلة ترتبط بطول العمر، يعني ذلك أن الأيض يرتبط بامتداد العمر، فربما تعيش الزواحف والبرمائيات لفترات أطول من الثدييات المماثلة في حجمها؛ لأنها من ذوات الدم البارد ولأنها تتمتع بعمليات أيض أبطأ. بالمثل، تنمو الفئران سريعًا، ولذا تموت أسرع من البشر أو الأفيال. يبدو هذا التفسير مثيرًا للاهتمام؛ فكل جسم يحظى بحصة معينة من دقات القلب تصل إلى مليار دقة، ويمكن أن يستنفدها سريعًا أو بطيئًا.



شكل ١-٣: ثمة ارتباط بين الحد الأقصى للعمر (بالسنوات) وكتلة الجسم في مرحلة البلوغ (بالجرامات)، ويبين الرسم البياني ١٧٠٠ فصيلة مأخوذة من «قاعدة بيانات أعمار الحيوانات وشيخوختها» التي أعدها جواو بيدرو دي ماجالهاييش من جامعة ليفربول. الارتباط مستوٍ نسبيًّا — إذ يقابل معامل الزيادة في العمر قدره ١٠ معامل زيادة في الكتلة قدره ٣ ملايين — ومعدل التشتت كبير. (Joao Pedro Magalhaes, University of Liverpool)

الأمر للأسف أكثر تعقيدًا من هذا، فبعد استبعاد تأثير عامل حجم الجسم، ثمة ارتباط بين وزن المخ والحد الأقصى للعمر في الرئيسيات. لا يعني هذا أن أسباب الشيخوخة توجد في المخ؛ فالمخ الأكبر حجمًا قد يكون مفيدًا في مساعدة الحيوانات على الفرار من الحيوانات المفترسة. وفي أحد الأنواع، يمكن أن يسير الارتباط بين الحجم وطول العمر في الاتجاه المعاكس؛ فثمة دليل على أن الأشخاص قصار القامة يعيشون لفترة أطول من طوال القامة، ومربو الحيوانات يعلمون أن الكلاب صغيرة الحجم تعيش لفترات أطول في المتوسط من الكلاب كبيرة الحجم.

خضعت العديد من هذه العلاقات الدقيقة للدراسة والتوثيق من قبل جواو بيدرو دي ماجالهاييش، وهو باحث شاب يرأس جماعة تعتمد على الأساليب الجينية في دراسة الشيخوخة بجامعة ليفربول. وهو يطرح على المواقع الخاصة به على شبكة الإنترنت قواعد بيانات عن أعمار الحيوانات وتعميرها والجينات المرتبطة بالشيخوخة لدى الإنسان. يريد جواو هزيمة الشيخوخة، مُقِرًّا بخشيته من الموت دون تحفظ، قائلًا: «لأنها السبب الرئيسي



شكل ١-٤: توصلت دراسات عدة إلى وجود ارتباط بين معدل الأيض — المقاس هنا بآلاف السعرات الحرارية المستهلكة في الساعة — والكتلة أو الحجم. هذه العلاقة تنطبق على نطاق هائل يصل إلى مليار المليار ضِعف في الكتلة؛ بدءًا بالكائنات وحيدة الخلية وصولًا إلى الثدييات الضخمة. ولأن هذا الارتباط يقترن بالارتباط بين العمر والكتلة، فإن معدلات الأيض الأبطأ ترتبط بالأعمار الأطول. ويختلف الباحثون حول ما إذا كان هذا يحدث بسبب عوامل جينية أم تأثيرات بيئية. (Knut Schmidt-Nielsen, Duke University, and Cambridge University Press)

الحالي، والمستقبلي، في معاناة ووفاة من أحبهم.» وهو يلجأ إلى تقديم عروض موسيقية وعروض مسرحية ارتجالية لكي يلطِّف ذلك الخوف من الموت. ويظهر الإجلال لمهمته الشاقة ناطقًا بإحدى مقولات تشرشل: «النجاح هو الانتقال من فشل إلى فشل دون فقد الحماسة.» ومقولة أخرى لكاتب الخيال العلمي روبرت هينلين: «استمع دومًا للخبراء؛ فسيخبرونك بما لا يمكن القيام به ولماذا. وبعد ذلك قم به.»

ماذا عن التمرينات الرياضية، التي تبدو أمرًا سيئًا لأنها تجعلنا نستنفد دقات القلب بسرعة أكبر؟ إن العملية الحسابية المتعلقة بها سهلة؛ فمعدل دقات القلب في أوقات الراحة لسيدة تبلغ من العمر ٤٠ عامًا وتحظى بدرجة متوسطة من الصحة تبلغ ٧٥ دقة في الدقيقة أو ٧٥٠ ألف دقة أسبوعيًّا. افترض أنها تمارس التمرينات الرياضية لمدة خمس

ساعات أسبوعيًّا تزيد خلالها معدل دقات قلبها إلى ١٢٠ دقة. وأنها بقيامها بذلك تقلل معدل دقات قلبها أثناء وقت الراحة إلى ٦٥ دقة في الدقيقة، وهو المعدل النموذجي لأي شخص يتمتع بصحة بدنية جيدة. حرقت هذه السيدة ١٣٥٠٠ دقة «إضافية»، لكنها «وفَّرت» ١٠٠ ألف دقة. أضف إلى ذلك أن القلب صار أكثر قوة نتيجة لذلك. الفارق كبير للغاية بين الرقمين، فلا تتذرع بحجة معدل الأيض للتهرب من أداء تمريناتك الرياضية.

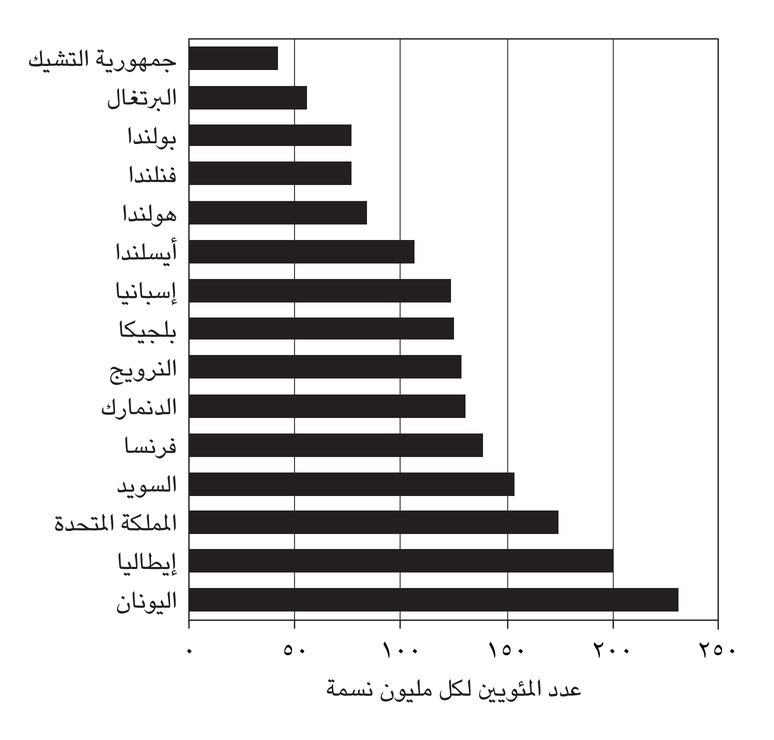
لكيلا نصير شديدي الهوس بدقات قلوبنا والمدى العمري، دعونا نفكر لحظة في ذبابة مايو المسكينة. تنتمي هذه الحشرات إلى مجموعة تحمل اسمًا مبهجًا، وهو الزوليات، الذي يعني الذباب قصير الأجل. تعيش أنثى أحد أنواع هذه الذبابة، التي تلعب دورًا محوريًّا في السلسلة الغذائية بجداول المياه والبحيرات، في حالة سُبات تحت الماء مدة عام في شكلها الانتقالي بين اليرقانة والحشرة، ثم تخرج للحياة لمدة خمس دقائق كحشرة طائرة كاملة النمو، وأثناء هذه الحياة القصيرة لا بد لها أن تجد زوجًا وتتزاوج وتضع بيضها مرة أخرى في الماء.

(٢-٤) أعظم القردة

القردة العليا هي فئة الرئيسيات التي تشمل الإنسان، ونادرًا ما يعيش «أبناء عمومتنا» من الناحية الجينية لأطول من ٣٠ أو ٤٠ عامًا في البرية، لكن يمكن أن يعيشوا فترات أطول في الأسر. وقد نفقت غوريلا سهلية تُدعى جيني في عام ٢٠٠٨؛ وذلك بعد مرور أربعة أشهر على إفراطها في تناول كعكة لذيذة مكونة من أربع طبقات معدة من الموز والفواكه المجمدة ومغطاة بأوراق الموز؛ احتفالًا بعيد ميلادها الخامس والخمسين.

الشمبانزي الأكبر سنًّا أيضًا هو الشمبانزي الأشهر، وهو شيتا. فقد انضم شيتا، ببلوغه ٧٦ عامًا، في عام ٢٠٠٨ إلى «موسوعة جينيس للأرقام القياسية» كأكبر الحيوانات غير البشرية سنًّا من الرئيسيات. ظهر شيتا في ١٢ فيلمًا من أفلام طرزان مع جوني فايسمولر وليكس باركر منذ عام ١٩٣٤ حتى ١٩٤٩، وجسَّد دور رامونا في فيلم «بيلا لوجوزي يقابل غوريلا بروكلين». وكان دوره الأخير هو تشي-تشي الذي أدَّاه مع الممثل ريكس هاريسون في فيلم «دكتور دوليتل». ومنذ ذلك الحين خلا إلى نفسه في مدينة بالم سبرينجز، حيث يرسم ويتصفح كتبه ويلعب البيانو ويشاهد الأفلام القديمة مع حفيده. جمعت مبيعات أعماله الفنية عشرة آلاف دولار للمؤسسات الخيرية ومحمية «جين جودال» في جومبي. وفي عام ٢٠٠٨ نُشرت سيرته الذاتية التي عُهد بكتابتها إلى أحد الكتَّاب، والتي

حملت عنوان «أنا شيتا». وعلى الرغم من شهرة شيتا، فقد عانى خزي خسارته أمام الجنية تنكربيل في الحصول على نجمة توضع له في ممر الشهرة في هوليوود.



شكل ١-٥: عدد المئويين في دول أوروبية مختارة عام ٢٠٠٧ لكل مليون نسمة. ثمة تباين بمعامل قيمته ٥ لا يُنسَب بوضوح إلى الرفاهية أو إجمالي الناتج المحلي للفرد أو جوانب أسلوب الحياة مثل «النظام الغذائي لدول البحر المتوسط». من المؤكد أن علم الوراثة يلعب دورًا قويًّا في هذه التباينات. (Eurostat, European Communities)

فماذا عن أعظم فصائل القردة العليا؟ من النادر بقاء الإنسان على قيد الحياة حتى سن المائة عام، لكن ذلك لم يعد شيئًا استثنائيًّا؛ فهناك في جميع أنحاء العالم نصف مليون مئوي، منهم حوالي ٦٠ ألف مئوي في الولايات المتحدة و٣٠ ألف مئوي في اليابان (الشكل ١-٥)، يتلقى هؤلاء الأشخاص في الولايات المتحدة خطابًا موحدًا من الرئيس الأمريكي،

وتوجَّه لهم التحية في برنامج «ذي توداي شو»[٩] على شبكة إن بي سي. وجميع المواطنين في المملكة المتحدة ودول الكومنولث يتلقون تحيات ملكية يوم وصولهم لسن المائة عام، وفي كل عيد ميلاد بعد المائة. وقد عرضت جدتي وأم جدتي الاسكتلنديتان بفخر البرقيات التي تلقتاها من الملكة إليزابيث على رفِّ المستوقد في منزلهما. وفي أيرلندا، يحصل المئويون على «جائزة» قدرها ٢٥٤٠ يورو. لكن بعد المائة عام يموت البشر كالذباب؛ فمن بين كل ألف مئوي يعيش شخص واحد فقط حتى سن ١١٠ أعوام، وهو من يسمى «المئوي الخارق»، ومن بين كل خمسين شخصًا تجاوزوا المائة وعشرة أعوام يعيش شخص واحد حتى سن ١١٥ عامًا.

وخلافًا للحكايات التي تروى عن القوقازيين الواهني الصحة الذين يبلغون من العمر ١٥٠ عامًا، والذين يجتازون ليالي الشتاء القارسة ويعيشون على الجبن المعد من اللبن الرائب ودم الماعز، فإن أكبر الأشخاص سنًّا على الإطلاق هي جان لويز كالمان. وُلدت جان في مدينة آرل عام ١٨٧٥، وتوفيت عام ١٩٩٧ عن عمر يناهز ١٢٢ عامًا. في سن الثالثة عشرة، قابلت جان الرسام فينسنت فان جوخ ووصفته بأنه «شخص متسخ وكريه، يرتدي ملابس رديئة». شرعت جان في تعلُّم المبارزة وهي في سن ٨٥ عامًا، وركبت الدراجة حتى سن ١٠٠ عام. وهي في التسعين من عمرها، باعت شقتها لأحد المحامين بموجب اتفاق يُعرف باسم الرهن العقاري العكسي، وفيه وافق المحامي على أن يدفع لها مبلغًا ثابتًا من المال حتى وفاتها؛ فدفع لها أكثر من ضعف قيمة الشقة. كانت سيدة بارعة من نواحٍ شتى؛ قالت ذات مرة: «ليس لدي سوى تجعيدة واحدة وأنا أكافحها.»

قد نتأمل بصورة طبيعية المعاني الخفية في قصة جان لويز كي نرى ما يميزها. بخلاف طول العمر المميز لأفراد عائلتها المقربين، تمتزج العوامل بعضها ببعض، فمما لا شك فيه أن زواجها من صاحب متجر ثري، وتمتُّعها بحياة تتميز بالرفاهية، قد شكلا عونًا لها. (لم يكن زوجها حسن الحظ للغاية؛ إذ مات قبلها بخمس وخمسين عامًا بعد تناوله لكرز فاسد في الحلوى.) كانت تضع زيت الزيتون على جميع طعامها، وتدعك به بشرتها، وتشرب خمر البورت، وتأكل حوالي كيلوجرام من الشيكولاتة أسبوعيًّا. كانت أيضًا تدخِّن السجائر حتى سن ١١٧ عامًا، ولم تتوقف إلا حين صار نظرها ضعيفًا للغاية لدرجة عجزت معها عن إشعال السجائر.

في النهاية خذلها «جسدها» كما ستخذلنا أجسادنا جميعًا في يوم من الأيام. وأقل ما يمكن أن يقال عن أن ثراء الحياة لا بد أن يتبعه العدم على نحو حتمي، هو أنها فكرة

مربكة. لقد انتشرت ذرات جان لويز لتتخذ أشكالًا جديدة، وستبقى ذكرياتها فترة من الوقت في أذهان من يعرفونها. وسيخلد الدليل على وجودها فترة أطول في شكل كلمات مطبوعة في هذا الكتاب وغيره من الكتب، ومع ذلك، فالكلمات ما هي إلا ظلال باهتة لإنسانة كانت تدعى جان لويز. لننقب إذن — بنشاط لكن بقدر من الخوف — عن الحقيقة المطلقة للموت.

(٣) نهاية المسار

(٣-١) قضية فلسفية معقدة

لآلاف السنوات اعتنقت الثقافات الإنسانية فكرة الحياة بعد الموت، التي يظل فيها جوهر الفرد باقيًا بعد الموت؛ ربما ليبقى في عالم الروح، وربما لكي يولد من جديد في وعاء مادي آخر. تتباين طبيعة هذه الحالة المستمرة؛ فقد نظر إليها اليونانيون القدامى على أنها العالم الكئيب للإله هيدز. وتشترك الأديان التوحيدية في اعتقادها بتدرج مستويات هذه الحياة من الجنة إلى الجحيم. وفي بعض الأديان الشرقية يمكن للروح أن تتناسخ في صورة حيوانات ونباتات وحتى صخور.

للحياة بعد الموت ركيزة أخلاقية في معظم الأديان، وهي أنها تعويض (أو عقاب) مؤجل يلقاه المرء عن سلوكه في حياته البيولوجية، وترتكز احتمالية الحياة بعد الموت على قضية معقدة واحدة ألا وهي: مشكلة الهوية.

كتب بلوتارك عن سفينة كانت ملك الأمير ثيسيوس عُرضت في اليونان في القرن الثالث قبل الميلاد بعد انقضاء فترة طويلة على حكمه، وبكلماته يقول: «للسفينة التي عاد فيها ثيسيوس وشباب أثينا ثلاثون مجدافًا، وحافظ عليها أهل أثينا إلى زمان ديميتريوس فاليروس، وذلك بأن أزالوا الألواح القديمة المتهالكة ووضعوا بدلًا منها خشبًا جديدًا أكثر متانة. صارت هذه السفينة مثالًا باقيًا بين الفلاسفة على القضية المنطقية الخاصة بالأشياء التي تنمو؛ إذ بقي أحد جانبي السفينة كما هو في حين يشهد الجانب الآخر بأنها ليست كما هي.»

لقد استبدل أهل أثينا كل لوح في السفينة الأصلية للأمير ثيسيوس مع تهالكه أو قِدمه، وأبقوا عليها بحالة جيدة، لكن بعد انقضاء العديد من السنوات، هل ظلت لديهم السفينة نفسها التي كانت ملكًا لثيسيوس؟ ثمة قصة مماثلة رُويت عن بلطة جورج

واشنطن التي يُدَّعى حتى الآن أنها أثر باقٍ من أول رئيس على الرغم من استبدال الرأس والمقبض عدة مرات، ثم هناك فرقة مينودو الغنائية الشابة من بورتوريكو، التي ظلت تؤلف مقطوعات موسيقية متشابهة طيلة ٣٠ عامًا على الرغم من التغيير المستمر في أعضاء الفرقة.

لا ينطبق التغيير والاستمرارية فقط على السفن، بل على الأوعية الدموية البشرية أيضًا؛ فأنت لست الشخص نفسه الذي كنت عليه منذ ١٠ سنوات؛ فهذا هو متوسط عمر خلاياك. ويتوقف صمود الخلايا على دورها في ساحة معركة الجسم؛ فخلايا المَعِدة تدوم مدة خمسة أيام فقط، في حين تبلى خلايا الدم الحمراء بعد ثلاثة أشهر والسفر مسافة ألف ميل، فيما تدوم خلايا الكبد أقل من عام، بل حتى الهيكل العظمي يتجدد كل عقد عن طريق جيش من الخلايا المحلِّلة للعظام والأخرى البانية لها. ليس هناك من خلايا خاملة تشارك المرء في عمره سوى خلايا عدسة العين والخلايا العصبية للقشرة المخية.

دعنا الآن نطالع صورتين متباينتين لقصة سفينة ثيسيوس من شأنهما توضيح مشكلة الهوية، وهنا أتوجه بالشكر إلى مارك كوهين الأستاذ بجامعة واشنطن. أولًا، افترض أن ثيسيوس قد أبحر وبرفقته جميع قطع الغيار. وبينما كان في البحر استبدل الأجزاء الجديدة بالقديمة. هل السفينة التي عاد فيها هي تلك التي غادر فيها؟ وإن لم تكن كذلك، فكم عدد الأجزاء الأصلية التي قد يحتاج لأن تكون باقية فيها لكي تكون هي نفسها؟

في الصورة الثانية، افترض أن ثيسيوس كان متبوعًا بسفينة تجمع الأجزاء بعد تخلُّص ثيسيوس منها، ثم تعيد بناء سفينته الأصلية من جديد، ثم تتجه السفينتان إلى الرصيف جنبًا إلى جنب. أيٌّ منهما تعد سفينة ثيسيوس في تلك الحالة؟ إن ذهبنا إلى أن سفينته هي تلك التي أُعيد تجميعها من الأجزاء التي جرى التخلص منها، فهي إذن ليست السفينة نفسها التي غادر عليها، وبذلك يكون قد «غيَّر السفن» بطريقة أو بأخرى. لكن إن ذهبنا إلى أن سفينته هي تلك التي أنهى رحلته عليها، فسنجد أنها لا تجمع في أجزائها أيَّ شيء مشترك مع السفينة التي غادر عليها، في حين ستحمل السفينة التي تستقر إلى جواره بعد وصوله إلى رصيف الميناء جميع أجزاء السفينة التي غادر عليها، مع ذلك فهي سفينة مختلفة!

يمكننا أن نتخيل الفلاسفة وهم يمضون الساعات السعيدة يتفكرون في هذه الأشياء، لكن ما علاقة هذا بـ «الآخرة العظيمة»؟ إن كان الموت حقًّا هو النهاية — باب ينغلق على

جميع الذكريات والتجارب والهوية الشخصية — فليس هناك ما يمكننا مناقشته، لكن إن كان الباب نحو سمو الكائن الحي ذي الخصائص البيولوجية مفتوحًا، فمن الإنصاف أن نسأل عن الشكل الذي قد يكون عليه.

(٣-٢) معضلة الثنائية

من المحتمل ألا يكون الأمر على هذا النحو: في فيلم «الشبح» الذي عُرض عام ١٩٩٠ جسَّد باتريك سوايزي وديمي مور دور زوجين سعيدين انهار عالمهما حين قُتل سوايزي في إحدى الليالي على يد أحد اللصوص. يصير سوايزي شبحًا محاصَرًا بين عالمين، ويدرك أن زوجته تتعرض للتهديد من زميل عمل سابق، لكنه عاجز عن التدخل، إلى أن استعان بمحتالة ووسيطة روحانية جسَّدت ووبي جولدبرج شخصيتها. في الفيلم ينهض الموتى من جثامينهم، ويتخذون ظهورًا شفافًا، ويمرون عبر الأشخاص والجدران والأجسام الصلبة الأخرى. هم يبدون كبشر، لكنهم ليسوا مرئيين إلا لعدد قليل من الأشخاص المميزين.

تُقدِم هوليوود على رهانٍ مضمون بفيلم كهذا؛ فطبقًا لاستطلاع للرأي أجرته وكالة أسوشيتد برس في عام ٢٠٠٧ أفاد أمريكي واحد من بين كل أربعة أمريكيين برؤيته لشبح أو شعوره بوجود روحاني، بل إن الاعتقاد في وجود الملائكة والشياطين يصل إلى معدل أكبر من هذا يُقدَّر بنحو ٧٠٪. وثلاثة من بين أربعة أمريكيين يعتقدون في الحياة بعد الموت، وهو الأمر الذي لن يكون على الأرجح مثيرًا للدهشة في دولة دينية يعتقد ٩٠٪ من قاطنيها في وجود الله.[١٠]

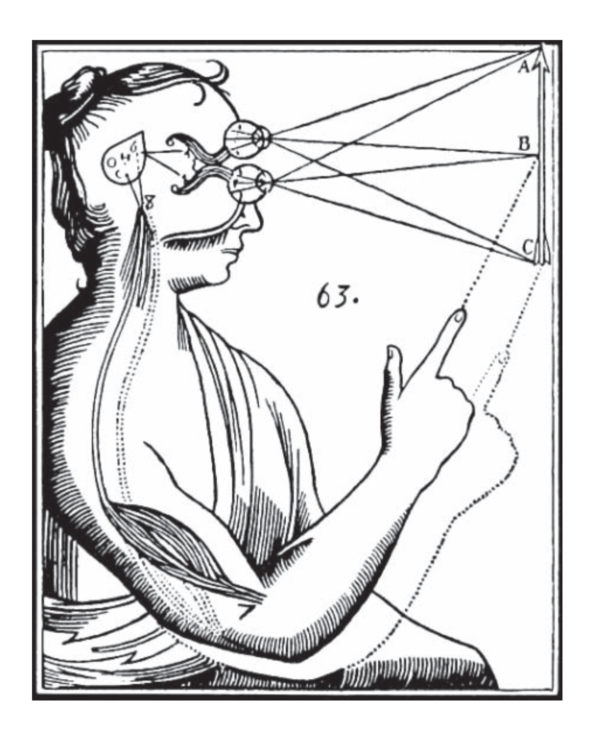
يرتبط الاعتقاد في وجود حياة بعد الموت على نحو مباشر بنظرة فلسفية تُعرف باسم الثنائية. تذهب هذه النظرة إلى أن للإنسان جسمًا ماديًّا وروحًا غير مادية، وبالمثل، بتطبيق الثنائية على الإدراك نجد أن لدينا مخًّا ماديًّا وعقلًا غير مادي، وهما ليسا بالشيء نفسه. هذه الأفكار ترجع إلى أفلاطون وأرسطو، ونظمها فليسوف القرن السابع عشر رينيه ديكارت. لقد جزم ديكارت بأن العقل والجسد شيئان مختلفان تمامًا؛ لأنه يمكن أن يشك فيما إذا كان لديه جسد أم لا، لكنه لا يمكن أن يشك فيما إذا كان لديه عقل أم لا.[١١] وقد قال في كتابه «تأملات في الفلسفة الأولى»: «لدي فكرة واضحة ومميزة عن نفسي كشيء مفكر غير ممتد، كما لدي فكرة واضحة ومميزة عن الجسد كشيء ممتد غير مفكر. وأيًّا كان ما أراه بوضوح وبطريقة مميزة يستطيع الله خلقه. والعقل؛ الشيء المفكر، يمكنه

أن يوجد بعيدًا عن جسده الممتد، ومن ثم، العقل مادة مميزة عن الجسد؛ مادة جوهرها التفكير.»

النظرة الثنائية «تبدو» مقبولة؛ لأن الحالات الذهنية تبدو مختلفة للغاية عن الحالات المادية؛ فهناك شجرة موجودة في الفناء الخلفي لمنزلي يستطيع أي شخص رؤيتها، ومع أنه ما من أحد منا يمكنه ملاحظة أحد الإلكترونات مباشرة، فيمكن لأي شخص أن يتحقق منه مستخدمًا الأدوات المناسبة. على الجانب الآخر فحالاتي الذهنية مميزة؛ إذ لا يستطيع أي شخص مشاركتي إياها. ولهذا السبب قد يساورني الشك حيال ما يدور في عقول الآخرين وليس ما يدور في عقلي. من السهل وصف الحالات البدنية التي ترتبط باحتراق أحد الأصابع أو السماء الزرقاء أو أحد الأصوات الموسيقية، ولكن من الصعب للغاية وصف تجربة الألم أو رؤية السماء الزرقاء أو سماع الموسيقى. ويجادل مؤيدو نظرية الثنائية بأن الجوانب الذاتية للأحداث الذهنية — التي يُطلق عليها اسم التجربة الذاتية — لا يمكن اختزالها إلى أي شيء مادي.

لقد جعل العلم الحديث من الدفاع عن نظرية الثنائية أمرًا صعبًا للغاية؛ إذ هناك الكثير من مواضع الاقتران والروابط السببية بين الأحداث المادية والذهنية؛ فأنا أذهب إلى وعاء القهوة لأنني أريد تناول القهوة، ثم أسحب يدي بعيدًا لأنني أشعر باحتراق فيها، وهذا الشعور بسبب سخونة مُشعل النار في الموقد. يستطيع علماء الأعصاب الآن الربط بين الحالات الذهنية والنشاط الكهروكيميائي الموضعي في المخ. أما مذهب الثنائية الذي ذهب إليه ديكارت فيفترض وجود عالم غير مادي مستقل تمامًا عن العالم المادي (الشكل ١-٦)، ومع ذلك تتجسد عمليات التفكير والخصال التي تشكل جوهر الروح في صورة أفعال في العالم المادي. إننا نبدأ الحياة في صورة خلية واحدة من المادة، ويمكن شرح عملية التطور التي نمر بها دون التطرق لأي آليات غير مادية.[١٢]

لا يرى مؤيدو النظرة الثنائية أن المرء يساوي جسده أو مخه وحسب؛ لذا يظل المجال مفتوحًا للاعتقاد في الحياة بعد الموت. وفي العالم غير المادي الخارق للطبيعة الذي يؤيدونه يكون أي شيء ممكنًا؛ ففي قصة ثيسيوس يبدو وكأن هناك «إبحارًا» جوهريًّا غير مرتبط بالأخشاب. ليس بوسعنا نبذ فكرة الوجود المحرَّر من الجسد على أساس منطقي، لكن ليس لدينا فكرة كيف يمكننا أن نصف ما سيكون عليه، وعلى الأرجح لن يكون كما جاء بالفيلم.



شكل ١-٦: اختص ديكارت العقل بالوعي وإدراك الذات، فيما اختص المخ بالذكاء. يوضح الشكل المأخوذ من كتابه «تأملات غيبية» وظيفة الغدة الصنوبرية التي اعتقد أنها وسيط بين المدخلات الحسية والروح غير المادية. وقد أطلق عليها اسم «موطن الروح». (René Descartes, Metaphysical Meditations (1641))

(٣-٣) مأزق المادية

يعد البعث الجسدي الصورة المعتادة للحياة بعد الموت في الأديان التوحيدية الكبرى: اليهودية والمسيحية والإسلام. فهل البعث الجسدي ممكن في ضوء النظرة المادية؟ نظرًا لأن ذرات أي كائن حي في تغير مستمر يشكل البعث تحديًا هائلًا. فكيف يمكن سد الفجوة في الزمان والمكان بين الجسد الفاني والجسد المبعوث، بحيث يكون الشخص المبعوث مطابقًا لذلك الذي مات؟

لا بد من سد الفجوة؛ لأنه من صلب العقيدة المسيحية الإيمان بأن يسوع الناصري المصلوب قد نهض من قبره، بالمعنى الحرفي للكلمة، وأن بعثه جرى بالوسيلة ذاتها التي سيجري بها بعث الموتى بصورة عامة. لا يقتصر الأمر على ذلك وحسب، بل ذهبت تلك العقيدة إلى أن البعث ليس مجرد استعادة لحالة الشخص قبل موته — كما في قصة لعازر — وإنما هو بوابة إلى نوع جديد من الحياة. فبعد البعث، لا يزال يسوع كائنًا حيًّا، ولا يزال له جسد مكون من كواركات علوية وأخرى سفلية وإلكترونات، لكن أعيد تنظيمها في الشكل الجسدي المثالي الأداء الذي قصده مصممه المثالي.

افترض أن الله يريد أن يرفع سقراط من قبره. كيف سيفعل ذلك؟ من وجهة نظر مؤيدي النظرة الثنائية، ليست هناك مشكلة في إعادة سقراط ثانية؛ لأنه، بشكل ما، لم يرحل قط. كل ما هو مطلوب هو جسد حي يحوي روحه. ومع ذلك، يعلم مؤيدو المادية أن فترة ألفيتين كافية لنشر ذرات سقراط في المحيط الحيوي. وبهذا ستصير مهمة إعادة التجميع صعبة، حتى في ظل التمتع بالقدرة الكلية. وإن كان الله يمكنه إعادة تجميع الذرات التي شكَّلت جسد سقراط في لحظة وفاته عام ٣٩٩ قبل الميلاد، فيمكنه أيضًا تجميع الذرات التي شكَّلت جسده حين كان أصغر سنًّا بكثير في عام ٤٤٠ قبل الميلاد. وفي الحقيقة، نظرًا لأنه ما من تداخل بين مجموعتي الذرات فيمكنه تجميع ذرات كلا الجسدين جنبًا إلى جنب. لكن ليس سقراط أيًّا منهما أو كليهما، ولأنه ليس كليهما فهو ليس أيًّا منهما. وها نحن نعود إلى قضية ثيسيوس وسفينتيه.

كان بيتر فان إنواجن، الفيلسوف والباحث المسيحي بجامعة نوتردام، قد تعمق في هذه القضية، وذهب إلى أن الله يستطيع أن ينقل الجثمان في لحظة الوفاة ويستبدل به نسخة أو صورة مطابقة، وهي التي تحترق أو تتعفن، أو ربما ينقل الله من الجثمان جزءًا حيويًّا من جوهر الشخص. وهكذا يُحَافَظ على الاستمرارية، وحين يحين وقت البعث يعيد الله الحياة إلى الجسد قيد النقاش. قد لا يكون البعث المادي المحافظ على الهوية أمرًا مستحيلًا، لكن من اللازم توافر براعة شديدة لتحقيقه.

ثمة مأزق مختلف يواجه الأديان غير التوحيدية التي تؤكد على وجود حياة بعد الموت. فالبوذية واليانية وبعض الطوائف الهندوسية يعتقدون أن تناسخ الأرواح يقع تحت هيمنة الكارما؛ الأعمال الجيدة أو السيئة للمرء في هذه الحياة أو حيواته السابقة، لكن ذلك يُوجِد مشكلة «إدارة» الكارما؛ لأن جيناتك والبيئة الأسرية التي تجد نفسك فيها لا بد أن تقابل القيمة الأخلاقية لأعمالك السابقة. إن قوانين الطبيعة معقدة وماكرة، لكنها

أيضًا موضوعية، والمواقف المادية لا تنتبه إلى الاعتبارات الأخلاقية. لذا لا بد أن يكون القانون الأخلاقي للكارما في التقاليد الهندية مختلفًا بصورة جذرية عن القانون الذي يحكم العالم المادي. ومع ذلك، من المفترض أن يكون الاثنان مرتبطين على نحو وثيق.

(٣-٤) ما وراء الجسد

في ظل الاصطدام بالحد الفاصل بين الإيمان والعقل، يكون ملاذنا الوحيد هو الحد الفاصل بين الحياة والموت كي نسأل عما يحدث فعلًا. وهذا يعيدنا إلى الحكاية الافتتاحية لهذا الفصل وباتي رينولدز التي كانت ترقد في عربة المستشفى بجسد بارد للغاية ووظائف مخية شبه معطلة. تعد قصتها أحد الأدلة — القائمة إلى حدٍّ بعيد على الروايات الشخصية — على تجارب الاقتراب من الموت التي يدَّعي ثمانية مليون أمريكي أنهم مروا بها طبقًا لاستطلاع رأي أجرته مؤسسة جالوب عام ١٩٨٢.

لقد أفسد مذهب الروحانية وجلسات استحضار الأرواح اللذان داما طيلة قرن أو أكثر الدراسة العلمية لما يحدث بعد الموت. لقد خُدع العلماء، وكان الكاشفون عن زيف الوسطاء الروحانيين أمثال هاري هوديني هم الأقلية. كانت إليزابيث كوبلر روس طبيبة نفسية شهيرة، وادَّعت أنه لا وجود للموت. وقد روَّجت لفكرة الربط بين تجارب الخروج من الجسد ولحظة الاحتضار، إلا أن مصداقيتها ذهبت أدراج الرياح حين كُشف عن قيامها بالاستعانة بشاب يرتدي عمامة لمعاشرة الأرامل الحزينات تحت ستار استدعاء أرواح أزواجهن الموتى.

توصلت دراسة ألمانية إلى أن نسبة ١٢٪ من إجمالي ٣٤٤ مريضًا أُنعش بعد مروره بتجربة توقف القلب و/أو توقف التنفس، تعرضوا لتجربة الاقتراب من الموت التي ميَّزها واحد أو أكثر من الأمور الآتية: الإحساس بالسكينة وظهور نفق مضيء و«استرجاع سريع لأحداث الحياة» وإجراء محادثات مع الأصدقاء أو الأقارب الموتى والانفصال عن الجسد.[١٣] تظهر هذه العناصر المشتركة دون أي اعتبار للطبقة الاجتماعية أو العمر أو العرق أو الحالة الاجتماعية.

على الجانب الآخر تتباين الروايات من ثقافة لأخرى، وغالبًا ما يكون من الصعب إثبات أنها ليست ذكريات زائفة. لقد أظهرت طرق التصوير بالرنين المغناطيسي الحساسة وجود مستوى منخفض من النشاط المخي لدى المرضى الذين يمرون بحالة من الخمول. وأي شخص يقترب من الموت يكون عرضة للنشاط العشوائي للإلكترونات ونقص

الأكسجين في المخ وزيادة معدلات الإندورفينات والاستجابات الكيميائية العصبية الشديدة الأخرى. ويستطيع الطبيب كارل جانسن من مستشفى مودسلي بلندن أن يعيد إنتاج جميع السمات الرئيسية لتجربة الاقتراب من الموت باستخدام الكيتامين، وهو مخدر يسبب الانفصال سريع المفعول ومسبب للهلوسة.[١٤]

قد يكون «المعيار الذهبي» في هذا المجال هو وجود دليل على أن شخصًا ما رأى أو عرف شيئًا ما كان له أن يتمكن من رؤيته أو معرفته من منظور جسده المتجمد في مكانه. تعلَّق طبيبة وطبيب جامعيان — جان هولدن في جامعة نورث تكساس وبروس جريسون في جامعة فيرجينيا — جهازَي كمبيوتر محمولَين من سقفَي غرفتَي عملياتهما بحيث لا يمكن للمرضى رؤية شاشتَيهما. تُعرَض الصور بترتيب عشوائي. والمرضى الذين يدَّعون أنهم هاموا فوق أجسادهم يمكنهم أن يحكوا عما رأوه، وحتى الآن لم يسمع أيٌّ من الطبيبين أي شيء مثير للاهتمام. وثمة دراسة مدتها ثلاثة أعوام جارٍ إجراؤها في ٢٥ مستشفى في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة من أجل إجراء تجربة مشابهة مع عدد كبير يصل إلى ١٥٠٠ شخص من الناجين من الأزمات القلبية، وقد تُوفِّر أول دليل مقنع على أن المعلومات يمكن أن تمر عبر «الباب المغلق».

الفصل الثاني

كل الأشياء الطيبة لا بد أن تنقضي

جلس بنجامين جومبيرتز في الحانة شاعرًا بالارتباك وعدم انتمائه للمكان. ارتشف قدحًا من الجعَّة وهو يحرك أصابعه بعصبية شديدة فوق إبزيم حزامه. على بُعد عدة أقدام منه تجلس مجموعة من البحَّارة المنهمكين في الحديث بصوت عالٍ أجش، وعلى طاولة قريبة يخفض رجل ممتلئ الجسم رأسه على الطاولة. يُظهر رداؤه أنه بنَّاءٌ للطوب، وكانت أصابعه الغليظة متشابكة بإحكام حول إبريقه حتى وهو نائم. لا يتعدى جومبيرتز الثامنة عشرة من عمره، لكن حوله فتية أصغر سنًّا تعتريهم حالات متباينة من الثمل. تقع هذه الحانة في قلب مدينة سبيتالفيلدز، متوارية وراء مناطق موانئ السفن في لندن وعلى مقربة من كنيسة وستمينستر بما يجعل أجراسها على مرمى السمع. والعام هو ١٧٩٩.

يجلس جومبيرتز منتظرًا شخصًا قابله لأول مرة في اليوم السابق؛ هو بائع للكتب المستعملة يشاركه الاهتمام الشديد بعلم الرياضيات. كان الرجل قد أخبره عن «جمعية سبيتالفيلدز للرياضيات»، وهي مجموعة من الأشخاص يجتمعون في الحانات المنتشرة في جميع أنحاء مركز المدينة الذي تشغله الطبقة العاملة. ويفِد الأعضاء إلى الحانة واحدًا تلو الآخر على نحو مستمر، وسرعان ما يجتمع اثنا عشر رجلًا شابًّا بجدية حول الطاولة ذات الحواف الخشنة وينخرطون في مناقشة حول علم الرياضيات. ثمة قاعدة واحدة فقط يخضعون لها، حسبما أوضحوا، وهي أن أي شخص يتلقَّى تعليمًا من الجمعية لا بد أن يوافق على أن يكون معلمًا أيضًا. وإن طرح أحد الزملاء سؤالًا، فلا بد أن يحاول زملاؤه البحث عن إجابة له وإيجادها وإلا فسيدفع بنسًا. هذه الغرامة التافهة تُوجِد روحًا تعاونية مذهلة وتبادلًا سريعًا

للأفكار. كان جومبيرتز يهوديًّا؛ لذا لم يُسمح له بالالتحاق بالجامعة، لكنه صار هنا وسط المجال الملائم له ونجح فيه.

حين يبلغ جومبيرتز من العمر ٤٠ عامًا سيتغلب على أصوله المتواضعة ويُنتخَب عضوًا بالجمعية الملكية. وفي العام التالي سيقدم بحثًا يطبِّق الحساب التفاضلي على متوسط العمر المتوقع. سيتمكن بعد ذلك من حساب احتمالية وفاة الشخص، وفقًا لعمره. ستكون تلك هي المرة الأولى التي يجري فيها إخضاع التقلب الظاهري الذي يتسم به الموت للمنطق، ومن ثمَّ يصير الموت قابلًا للتنبؤ به. وفي وقت لاحق سوف تستخدم صناعة التأمين التي قوامها تريليون دولار قانون الفناء الذي وضعه جومبيرتز.

* * *

(١) منجل الحاصد

(١-١) اتقاء الموت

إن كان الجسد قلعةً، فإنها مخترقة من منتصفها بواسطة طريق عام مزدحم؛ إذ يجري استبدال خلايانا كل سبع سنوات. ومع تقدمنا في العمر يكون من الصعب العثور على جند جدد مفعمين بالنشاط؛ لذا تظهر على القلعة علامات التمزق والتهالك. وفي النهاية تبدأ أجزاؤنا المتحركة في التعطل، وتتعرض جدران الخلايا للانتهاك من خائنين يخربون الآلة الوراثية. لم ينعم أوائل البشر برفاهية القلق من النخر البطيء الذي تُحدِثه الشيخوخة، إذ كانوا يَلقون حتفهم بفعل العدوى أو المخاض أو التقاتل. فالحياة القصيرة تجعل التركيز ينصبُّ على العيش.

تضاعف متوسط العمر المتوقَّع عند الولادة على مدار التاريخ الإنساني لأكثر من ثلاثة أضعاف. لم يترك أسلافنا القدماء للغاية سوى عدد قليل من العظام المتناثرة التي يمكن دراستها، لكن من المحتمل أن يعود أول العوامل المحفزة لطول العمر إلى تسخير النار منذ حوالي ٥٠٠ ألف عام. لقد وفَّر لنا طهي اللحوم والأسماك الحماية من العديد من الطفيليات التي يمكن أن تقتل الإنسان أو تقلِّل عمره. ومن عصر إنسان نياندرتال والعصرين البرونزي والحديدي، اللذين انتهيا في العام الأول للميلاد، توجد أدلة على ذلك من القبور التي دفن فيها الموتى. يوضح تحليل الهياكل العظمية أن متوسط الأعمار

كان ٣٠ عامًا، في حين بلغ أقصى معدل للأعمار ٤٥ عامًا. وعلى مدار العصور الوسطى نادرًا ما احتوت قبور عمال الحقول من الشعب الأنجلوساكسوني على بقايا أي شخص عاش أكثر من ٤٥ عامًا.

وحتى عصر النهضة، تراوح متوسط العمر المتوقع عند الولادة ما بين ٢٥ و٣٠ عامًا فحسب، مع انخفاض متوسط العمر بسبب معدلات وفيات الأطفال المرتفعة. وكما هو الحال في كل عصر، كان الثراء يعود بفائدة؛ فالحكَّام وأعضاء المحكمة الملكية الإنجليزية يقدمون صورة مستمرة لطول العمر بدءًا من عام ١٠٠٠ إلى عام ١٨٠٠. لقد ظل متوسط العمر المتوقع لهم ٥٠ عامًا على مدار ثمانية قرون. وإن استطاعوا اجتياز مرحلة الطفولة وقسوة الحرب كان متوسط العمر المتوقع بعد سن ٢١ عامًا هو ٦٥ عامًا؛ لذا عاش العديد من الأثرياء حتى العقد الثامن والتاسع من أعمارهم، وكان الأمر مماثلًا لدى عدد لا بأس به من الفقراء. لكن دعنا لا نشعر بالتفوق أكثر مما ينبغي؛ إذ عُثر على حوت مقوس الرأس عام ٢٠٠١ مغروس فيه طرف رمح صيد، وبتحليله إشعاعيًّا وُجد أنه يرجع إلى عام ١٧٩٠. لقد عاش الحوت أكثر بكثير من ٢٠٠ عام.

ثمة حقيقة مذهلة تحويها البيانات المتعلقة بطول العمر، فمع أن جميع أشكال الزيادة تقريبًا تحققت على مدار الأعوام المائتين الماضية، فقد نتجت في الغالب عن انخفاض معدل وفيات الأطفال. بعبارة أخرى، إنها لخرافة أن أسلافنا القدماء تحملوا الحياة التي وصفها الفيلسوف الإنجليزي توماس هوبز بأنها «بغيضة ووحشية وقصيرة». لقد كان الطب بدائيًّا في فترة ما قبل التاريخ، لكن العادات الشفهية وفَّرت إطار العمل اللازم لتصنيف سبل العلاج بالأعشاب. كان الوعي بها واستخدامها يتباين حسب الحياة النباتية المحلية المميزة للعصر، ومع هذا فسنندهش إذا أعددنا قائمة جزئية بها: إذ كانت الفطريات تُستخدم كمليِّن وكعلاج للطفيليات المعوية، وإكليل الجبل لتنظيم ضغط الدم، ومادة الكورار للاسترخاء العضلي، ونبات قفاز الثعلب للحد من التورم وكمادة منبهة، وكذلك كان عشب ذَنَب الأسد مستخدمًا لعلاج الربو. وكان الطمي يستخدم لتشكيل جبائر بسيطة لتثبيت العظام.

لا شك أن بعض سبل العلاج تجعلنا نقشعر خوفًا. استخدمت قبائل معينة في الأمريكتين النمل كبير الحجم لإعداد أول شكل من غُرَز الجروح. كانت النملة توضع على الجرح وتعض عليه، ثم يُفصل جسم النملة عن رأسها كي يظل فكها قابضًا على الجلد بإحكام. ومارست الثقافات في جميع أنحاء العالم نشر الجمجمة. في هذه العملية المثيرة

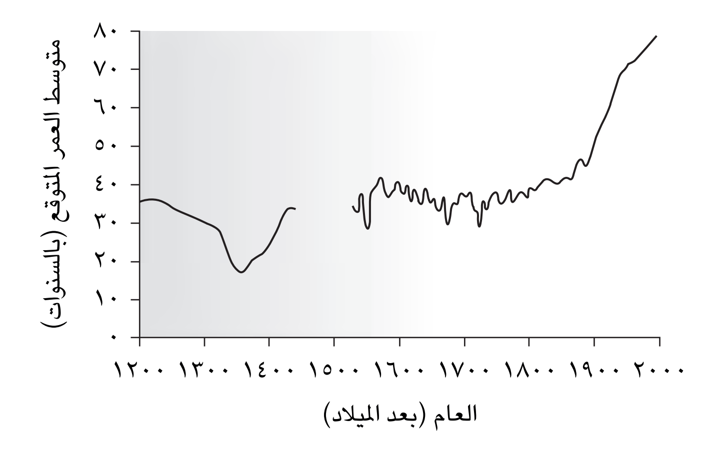
للامتعاض، تُستخدم أدوات مصنوعة من الصوان في عمل ثقب قطره خمسة سنتيمترات في الجمجمة. كان نشر الجمجمة يستخدم فيما يبدو لعلاج مشكلات الصداع الحادة والصرع، أو ببساطة من أجل طرد الأرواح الشريرة. إن إعادة نمو الثقب وحقيقة أن الأشخاص احتفظوا برقعة الجمجمة معهم كتعويذة للحظ يوضِّحان أن معظم الناس استطاعوا البقاء على قيد الحياة بعد هذا الإجراء الذي كان يؤدَّى بالطبع دون الحصول على أي مخدر.

لم تكن الحضارة هي الترياق الشافي لجميع أسقام البشر كما يتخيل معظم الناس؛ فالشروح الإثنولوجية لسكان مجتمعات الصيد وجمع الطعام الحديثة والسجل التاريخي الأثري للقبائل البائدة توضِّح أنهم كانوا يحصلون على حصص أعلى من السعرات الحرارية ويتمتعون بنظم غذائية أكثر توازنًا مقارنة بالمواطنين المعاصرين لدول العالم الثالث أو فقراء المدن في البلدان الصناعية. إن السمات الأساسية للنظام الغذائي لهؤلاء الأشخاص المعتمدين على الصيد وجمع الطعام — الوجبات المشبِعة والدهون القليلة ونسبة البوتاسيوم المرتفعة والصوديوم المنخفضة والسعرات الحرارية المنخفضة بالنسبة للعناصر الغذائية الأخرى — كانت تعمل بدورها على حمايتهم من الإصابة بمرض السكر ومشكلات الجهاز الدوري والمرض التنكُّسي والسكتات الدماغية التي تصيب الشعوب القليلة الحركة. وأظهر البدو مستويات أقل من الطفيليات مقارنة بسكان المدن، كما لم تجد الأمراض المنتشرة مثل السل والملاريا والطاعون الدبلي بيئة غنية لها بين مجموعات السكان الصغيرة والمنعزلة. وأخيرًا، عانت الحضارات الثابتة عجزًا فاجعًا في الموارد مثلما عانت هجرة السكان حتى وقت قريب جدًّا. لقد بولغ في تقدير أهمية التحضر.

(١-٢) الطب يهب للإنقاذ

يبدأ قَسَم أبقراط بما يلي: «أُقسم بأبولو الطبيب وأسقلبيوس وهيجيا وبانكيا وجميع الأرباب والربات، وأُشهدهم بأنْ أبرَّ بهذا القسم بقدر ما تسمح به قواي وقدراتي.» كانت بانكيا الربة التي عبدها المرضى الذين كانوا يأملون في الشفاء، وهيجيا الربة التي عبدها الأصحاء الذين أرادوا البقاء على هذا الحال. ومع حلول العلم محل خرافة عمرها ٢٤٠٠ عام، تحقَّق الهدف النبيل من القسم.[١]

كانت الزيادة التي تحققت في عصر الطب الحديث في متوسط العمر المتوقع ضخمة، فبعد قرون تأرجح فيها متوسط طول العمر ما بين ٣٠ و٤٠ عامًا (مع انخفاض كبير أثناء وباء الموت الأسود)، بدأ هذا المتوسط يزيد باطراد في العالم الغربي في منتصف القرن التاسع عشر (الشكل ٢-١). ذهبت النظرية الجرثومية إلى أن الكائنات الحية الدقيقة التي تنتقل ما بين الخلايا هي سبب العديد من الأمراض. فنَّد لوي باستير فكرة التولُّد التلقائي البديلة، وقدَّم روبرت كوخ — الطبيب الألماني الذي حاز جائزة نوبل — دليلًا مقنعًا على النظرية الجرثومية، لكن استغرقت ترجمة أفكاره إلى ممارسات طبية عملية عدة عقود.



شكل ٢-١: متوسط العمر المتوقع عند الولادة لملَّاك الأراضي من الذكور في إنجلترا ما بين عامي ١٢٠٠ و١٤٥٠م ولكلا النوعين في إنجلترا وويلز ما بين عامي ١٥٤١ و١٩٩٨. لم يكن متوسط العمر، البالغ ٣٥ عامًا لمعظم الناس خلال أغلب تلك الفترة، أكبر منه أثناء العصور الرومانية. ويرجع تضاعف متوسط العمر المتوقع أثناء القرن الماضي غالبًا إلى انخفاض معدل وفيات الأطفال، ويرجع حديثًا إلى النجاح في مكافحة بعض أمراض الشيخوخة.
(Bjorn Lomborg, Aarhus University, and Cambridge University Press)

لحسن الحظ، حتى قبل تلك الأفكار الثاقبة، خمَّن طبيب أطفال مجري يدعى إجناز سيملويس أن الحمَّى التي أودت بحياة سيدة من بين كل ثلاث سيدات أثناء ولادتهن

بالمستشفى قد انتقلت عبر الأطباء الذين كثيرًا ما كانوا يذهبون بعد تشريح إحدى الجثث إلى توليد إحدى السيدات دون غسل أيديهم. قلَّلت الإجراءات الطبية المحسَّنة بالمستشفيات من هذه الوفيات غير الضرورية للأمهات، لكنها لم تقللها عن نسبة الواحد بالمائة المعتادة في حالة ولادة الأطفال على يد قابلات ذوات خبرة.

دفع التحسُّن المستمر في مستوى المعيشة والنظام الغذائي والممارسة الطبية متوسط العمر المتوقع بقوة أكبر على مدار القرن العشرين[٢] ففي عام ١٩٠٠ لم تنجح نسبة ١٠٪ من الأطفال الرضَّع في البقاء على قيد الحياة بعد عامهم الأول، ولم تنجح نسبة ٢٠٪ في البقاء على قيد الحياة بعد سن الخامسة. أما بحلول عام ٢٠٠٠ فقد بلغت النسبتان ٠٫٧ و٠٫٨٪ على التوالي. حملت سبل الرعاية الطبية المتطورة أخبارًا طيبة أيضًا للأمهات؛ إذ انخفض معدل وفاة الأمهات إثر عمليات الولادة من نسبة ١٪ إلى نسبة ٠٫٠١٪؛ أي بمعدل سيدة واحدة فقط من كل ١٠ آلاف سيدة.

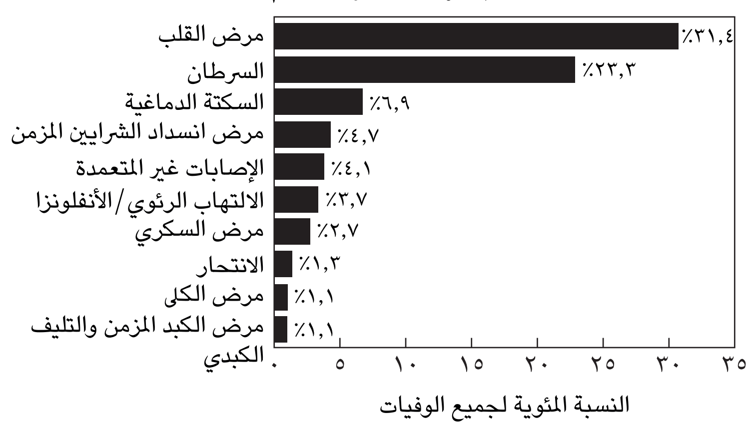
كان يمكن لمن وُلدوا عام ١٩٠٠ أن يتوقعوا أن يعيشوا حتى سن الخمسين، في حين يُتوقع للطفل الذي وُلد عام ٢٠٠٠ أن يعيش حتى سن الثمانين. أدى أمران إلى الوصول لهذا الحال؛ أولهما هو النجاح الهائل في مكافحة الأمراض المعدية القابلة للانتقال. لقد تسبَّب السُّل في وفاة ٢٠٠ من كل ١٠٠ ألف شخص عام ١٩٠٠، لكنه لم يعد أحد أسباب الوفاة الرئيسية بحلول منتصف القرن. وتسبب الالتهاب الرئوي والأنفلونزا معًا في وفاة أعداد مماثلة عام ١٩٠٠، لكن انخفضت أعداد الضحايا عشرة أضعاف بحلول نهاية القرن. لم يعد أحد يسمع الآن بوجود مرض الكوليرا والجدري في الولايات المتحدة أو في بقية دول العالم الصناعية. قد تبدو القيادة أمرًا محفوفًا بالمخاطر، لكنها بالفعل أكثر أمانًا مما كانت عليه. ففي عام ١٩٣٠، سجَّل معدل الوفاة جراء حوادث الطرق وفاة ٢٥ شخصًا من كل ١٠٠ ألف شخص، في حين يسجل الآن أرقامًا أقل بنسبة ٤٠٪، على الرغم من زيادة عدد السيارات في الطرق عشرة أضعاف ما كانت عليه.

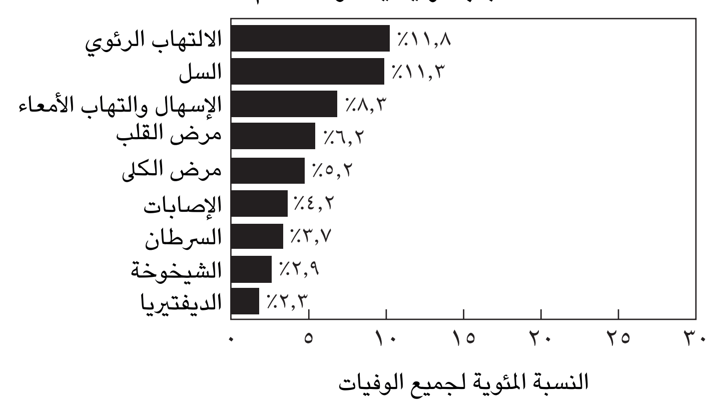
العامل الثاني هو اختلاف طرق وقوع المرض. قابَل انخفاض معدلات الوفاة جراء الأمراض المعدية في منتصف القرن العشرين زيادة في معدلات الوفاة جراء الأمراض المزمنة. والأسباب الرئيسية للوفاة بين الأمريكيين الآن هي أمراض القلب والسرطان، التي تسجِّل معدل وفاة حوالي ٣٠٠ و٢٠٠ شخص على التوالي من كل ١٠٠ ألف شخص.[٣] كانت الأمراض القاتلة القديمة غير مرئية، لكن على الأقل كان هناك عامل مسبب واحد، أما الأمراض القاتلة الجديدة فلها شبكة معقدة من الأسباب وعوامل الخطر.

لقد أصبحنا ضحايا لنجاحنا في مكافحة الأمراض سهلة العلاج نسبيًّا، لقد تباطأ معدل زيادة طول العمر. ففي حين زاد متوسط العمر المتوقع عند الولادة بمقدار ١٨ عامًا من عام ١٩٠٠ إلى ١٩٥٠، لم يزدد إلا بمقدار ٨ سنوات من عام ١٩٥٠ إلى ٢٠٠٠. وارتفعت معدلات الوفاة بين الأمريكيين بسبب السرطان من ٦٥ شخصًا من كل ١٠٠ ألف شخص عام ١٩٠٠ إلى ٢٠٠ شخص من كل ١٠٠ ألف شخص عام ٢٠٠٠، فيما ظلت معدلات الوفاة جراء أمراض القلب والأوعية الدموية ثابتة عند نحو ٣٤٠ شخصًا من كل ١٠٠ ألف شخص (الشكل ٢-٢).

مع ذلك، تخفي الأرقام الأولية لمعدلات الوفاة نجاحًا تحقَّق بكفاح شديد. إن معدلات الوفاة جراء الأمراض المزمنة في سن الثمانين أعلى بألف مرة عنها في سن العشرين؛ إذ إنه مع زيادة الأعمار يموت عدد أكبر من الأشخاص جراء هذه الأمراض. وفي الولايات المتحدة انخفضت معدلات الوفاة المعدلة حسب الأعمار والناتجة عن أمراض القلب في الولايات المتحدة منذ ستينيات القرن العشرين بسبب الوعي بأخطار التدخين وفوائد التمرينات الرياضية والنظام الغذائي الملائم، وبلغت معدلات الوفاة المعدلة حسب الأعمار والناتجة عن السرطان ذروتها في منتصف ثمانينيات القرن العشرين، وهي تنخفض ببطء منذ ذلك الحين. يبدو أن هناك بالفعل تأثيرًا لتريليونات الدولارات التي أُنفقت على العلاج والوقاية.

ثمة تفاوت كبير في متوسط العمر المتوقع على مستوى العالم، وهو يرجع إلى عدم المساواة في توزيع الثروة وفرص التمتع برعاية طبية وتغذية جيدة.[٤] يتسبب الفقر ومرض الإيدز في الإبقاء على متوسط العمر المتوقع للمرء في بوتسوانا وسوازيلاند ما بين ٣٣ و٣٤ عامًا. على الجانب الآخر المعاكس تمامًا، تعد دولتا أندورا وسان مارينو الصغيرتان أفضل الأماكن التي يمكن العيش فيها؛ إذ يعيش الناس هناك حتى سن ٨٢ إلى ٨٣ عامًا. وفي روسيا يسجل الرجال المرتبة رقم ١٦٦ في جدول الترتيب العمري على مستوى العالم؛ إذ لا تتجاوز أعمارهم ٥٩ عامًا، وهو معدل يقل ١٤ عامًا عن المرأة الروسية. أحيانًا يكون التباين شديدًا داخل الدولة نفسها؛ فمتوسط العمر المتوقع للرجال في حي كالتون الفقير بمدينة جلاسكو يبلغ ٥٤ عامًا، وهو ما يقل بثمانية وعشرين عامًا عنه في مدينة لينزي الصغيرة ذات الموارد الوفيرة التي لا تبعد عنه إلا خمسة أميال. ثمة شيء رديء للغاية لا بد أنه وجد سبيله إلى غذاء الفقراء الاسكتلنديين.





شكل ٢-٢: شهدت الأسباب الرئيسية للوفاة في الولايات المتحدة تغيرات هائلة بين عامي ١٩٠٠ و١٩٩٧ نتيجةً لدحر الأمراض التقليدية المعدية والقابلة للانتقال وظهور أمراض قاتلة أكثر مكرًا كمرض القلب والسرطان، التي لها شبكة معقدة من الأسباب. يمكن نسب جزء من التغيير ببساطة إلى ازدياد معدل طول العمر. ولا يزال معدل الوفاة جراء الحوادث ثابتًا؛ على الأقل لم نزدد إهمالًا. (Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Health Statistics)

(١-٣) المحتوم

إن احتمالات وفاتي أنا وأنت هي ... لنرى ... خذ الرقم ٥ وحدد الجذر التربيعي له، ثم ارفعه إلى الأساس ٢ ... حسنًا ... دعك من هذا السخف ... ستكون النتيجة في النهاية: ١٠٠٪. لا مفر من الموت، لكن ما يتباين هو الطريقة التي سنموت بها؛ لذا من المجدي أن ننظر إلى أكثر وأقل مسببات الموت ترجيحًا.

على مستوى العالم، يقضي مرض القلب على حوالي نصف البشر، في حين تقضي الأمراض المعدية وأمراض الجهاز التنفسي على نحو ٣٠٪ منهم، فيما يقضي السرطان على ١٢٪، وتقضي الإصابات على نسبة ٦٪، أما بقية العوامل فمسئولة عن وفاة نسبة أقل من ٥٪. لكن تلك الإحصائيات تخفي حقيقة أن هناك «عالمين». في البلدان الصناعية يعد السرطان ومرض القلب السببين المهيمنين للوفاة، وفي عالم البلدان النامية يعد الإيدز أكبر الأمراض القاتلة، يليه عدوى الجهاز التنفسي السفلي ثم مرض القلب. وعلى نحو لا يُصدق، يقتل الإسهال من الأشخاص في العالم الثالث — وأغلبهم من الأطفال — عددًا أكبر مما يقتله السرطان في الغرب. وجميع الأسباب الرئيسية للوفاة في البلدان الفقيرة تقريبًا إما كُبح زمامها أو قضي عليها في البلدان الغنية.

على مستوى الدولة الواحدة تكون التباينات مذهلة، وكثيرًا ما تكشف عن معلومات مهمة؛ فعدد الأشخاص الذين يموتون جراء مرض القلب في غرب أوروبا، نسبة إلى عدد السكان، يقل مرتين إلى ثلاث مرات عنه في شمال أوروبا؛ وهذا يمكن أن يعزى إلى النظام الغذائي لدول البحر المتوسط. تسجل معدلات الوفاة بالسرطان قيمًا عالية في الدنمارك، لكنها منخفضة في فنلندا القريبة منها. إن كنت تريد أن تكون محاطًا بسكان ذوي أكباد صحيحة اذهب إلى هولندا أو النرويج أو نيوزيلندا. تعد القيادة أكثر خطورة في البرتغال وروسيا، وتكون أكثر أمانًا في السويد وإنجلترا. عليك بالابتعاد عن الشعب الروسي والمجري؛ الذين يقتلون أنفسهم بمعدلات تزيد غالبًا بسبع مرات عنها لدى الشعبين الإسباني والبرتغالي المبتهجين.[٥]

من المسلم به أن الخوف أمر غير عقلاني، لكن يبدو أننا عكسنا كل منطقه؛ فالقيادة إلى حد بعيد هي أكثر الأفعال التي نقوم بها يوميًّا خطورةً، لكن قليلًا من الأشخاص هم من يدركون هذا التهديد. القيادة هي السبب الرئيسي للوفاة بين المراهقين الأمريكيين. على الجانب العكسي، يرهب الكثيرون الطيران، لكن احتمال الوفاة بسببه هي شخص واحد من كل ١٩ ألف شخص، وبهذا سيكون عليك الطيران أسبوعيًّا طوال حياتك حتى

تقترب تلك النسبة من خطر الوفاة بالسرطان. إن الخوف من الهجمات الإرهابية أمر سخيف جدًّا[٦] ففي مقابل كل أمريكي يُقتل على يد إرهابي يموت ١٠ آلاف أمريكي على يد غير الإرهابيين، ومعظم أولئك الأشخاص غير الإرهابيين هم أشخاص نعرفهم، وعادةً ما يكونون من أقربائنا.

ثمة بعض الحقائق القاسية المؤكدة: فالبرودة أخطر من السخونة، وأعواد الأسنان أخطر من البرق، والسير مشيًا على الأقدام أخطر من النار، والأسرَّة أخطر من السلالم، والثعابين أخطر من الإرهابيين، وملابس النوم القابلة للاشتعال أخطر من لدغة النحل، وجوز الهند أخطر من سمك القرش.[٧]

إليك نصيحة عملية تعتمد على هذا المزيج المختلط من الإحصائيات: كشفت الجمعية الطبية الأمريكية أن معظم حالات الوفيات في الولايات المتحدة تنتج عن سلوكيات يمكن تعديلها، وإذا تناول الجميع غذاءً جيدًا ومارسوا التمرينات الرياضية وتجنبوا التدخين فسينخفض معدل الوفيات بمقدار الثلث.

تلك النصيحة بسيطة، لكنها غير واضحة قليلًا؛ لذا دعنا ندرس القائمة بعمق أكبر قليلًا ونرى ما قد تضعه في اعتبارك من تغييرات أخرى في أسلوب حياتك. تؤدي الإصابات العارضة إلى وفاة شخص واحد من كل ٣٦ شخصًا، ويعد السقوط خطِرًا إلى حد ما؛ لذا بمجرد أن تنتهي من تمريناتك الرياضية ابقَ داخل المنزل هادئًا واجلس على مقعد. العامل التالي في الخطورة هو أنت؛ إذ يحميك التفكير في أفكار سعيدة من الانتحار، ويمكنك تفادي مجموعة من الأخطار الطبيعية عن طريق اختيار المكان الملائم للعيش فيه؛ فمكان جيد مثل مدينة منسي بولاية إنديانا سيحميك من أخطار الزوابع والأعاصير والزلازل وأمواج تسونامي والغرق. وتكاليف السكن هناك قليلة أيضًا. صحيح أن احتمالات وفاتك بسبب حكم بالإعدام هي ١ من كل ٦٠ ألف شخص، لكنها ستنخفض عن ذلك كثيرًا لو اتبعت السلوك القويم.

من شأن التعمق أكثر من هذا في أسباب الوفاة أن يجعلنا مهووسين بالأمر، لكن لا يهم. إن خطر المياه يتناسب عكسيًّا مع مقدارها؛ لذا تعد أحواض الاستحمام أخطر من حمامات السباحة، والأخيرة أخطر من المحيط. قد يجدر بك الحذر من كوب الشاي أو القهوة! وارتدِ لباسًا مدرعًا من الأسبستوس غير الموصل للحرارة أو الكهرباء للتعامل مع مواقف على غرار هجمات الكلاب والعضات السامة والصدمات الكهربائية أو الطعن. قد تشكل المقامرة مشكلة أيضًا؛ فقد أشارت شبكة الإذاعة الوطنية العامة إلى أن احتمالات

وفاة سكان مدينة نيويورك جراء العبور إلى نيوجيرسي لشراء تذكرة لجائزة يانصيب كبرى في تلك الولاية تزيد ١٧ مرة عن احتمالات فوزهم بتلك الجائزة. هذا سبب آخر يدعوك للاكتفاء بالجلوس في مقعدك.

وأخيرًا — وليست هذه بنصيحة نظرًا لأنه ليس لك حيلة بشأنها — من الأفضل لك أن تكون امرأة؛ فالنساء يعشن أطول من الرجال، وفيما يتعلق بالتهديد الرئيسي الذي يتعرضن له — وهو خطر الوفاة أثناء الولادة — فقد تحسنت معدلاته بفضل توفر رعاية طبية أفضل، علاوة على أنهن يتجنبن خطر الموت أثناء الحروب. الرجال هم أسوأ أعدائهن، لكن الرجال يتفوقون عليهن في معدلات تناول المشروبات الكحولية والتدخين وتعاطي المخدرات والموت خلف عجلة القيادة وقتل بعضهم بعضًا وقتل أنفسهم. نتيجة لذلك ظلت الفجوة العمرية بين الرجال والنساء في تزايد.

(٢) النجاح بالرغم من الصعاب

(٢-١) إيقاف الموت

جاهد البشر طيلة قرون عدة لتفهم جوانب الحياة التي يغيب عنها اليقين؛ ومن بينها توقيت الوفاة. كانت المؤسسات الخيرية موجودة دومًا كشبكة أمان، لكنها كانت غير مثالية وتشوبها العلل. ابتدع اليونانيون القدماء فكرة المعاشات، وأنشأ الرومان الجمعيات لسداد نفقات الجنائز، وبحلول العصور الوسطى كان يمكنك أن تدفع مبلغًا كبيرًا لأحد الأديرة وتعيش هناك بقية حياتك إن كنت تستطيع تحمل العزلة والصلاة المستمرة.

بدأ علم الموت عام ١٦٦٢ مع اكتشاف جون جونت — تاجر الأقمشة الذي عاش في لندن — لانتظام أنماط الوفاة بين مجموعات البشر على الرغم من انعدام اليقين الشديد بشأن الحياة المستقبلية لأي شخص بعينه. هذا يعيدنا مرة أخرى إلى قصة بنجامين جومبيرتز الذي سبق الإشارة إليه في بداية الفصل. استخلص جومبيرتز نظامًا حسابيًّا من تقلبات الموت، وقد اعتمد في عمله على عمل زملائه من أبناء لندن: إدموند هالي، الذي كان مغرمًا برصد المذنبات، واللاجئ الفرنسي أبراهام دي موافر، الذي لاحظ مع تقدمه في العمر أنه ينام لوقت أطول قليلًا كل يوم، واستطاع أن يتنبأ بتاريخ وفاته بدقة. توصل جومبيرتز إلى أن ما أطلق عليه اسم «قوة الموت» يتضاعف كل سبع سنوات بعد

سن العشرين. هذه الصيغة الدقيقة جعلته أول خبير بشئون التأمين على الحياة على مستوى العالم (الشكل ٢-٣).



شكل ٢-٣: كان بنجامين جومبيرتز (١٧٧٩–١٨٦٥) أول خبير بشئون التأمين على الحياة في العالم. كان قانون الفناء الذي توصل إليه، والذي استخدمته شركات التأمين في جميع أنحاء العالم، شكلًا محسنًا من نموذج ديموغرافي وضعه توماس مالتوس. علَّم بنجامين نفسه بنفسه؛ لأنه حُرم من الالتحاق بالجامعة لأنه يهودي. (T. O'Donnell, History of Life Insurance in Its Early Years (1916))

إن التفكير بشأن حقيقة موتك أو الطريقة التي ستموت بها شيء ضار بالصحة، وهذا من قبيل المفارقة. قضى تولستوي سنوات عمره الأخيرة في قبضة الخوف الوجودي بالغة القوة، ومن الواضح أنها عجلت بنهاية هذا الروائي، ومع ذلك تسير الأمور في صالح الأشخاص الذين يحسبون تواريخ الوفاة. أشارت صحيفة وول ستريت جورنال منذ عدة سنوات إلى أن خبراء التأمين يندرجون ضمن أفضل الوظائف التي تتمتع بأقل معدلات التوتر وأعلى الرواتب وبيئة العمل الهادئة.[٨] وعلى الجانب الآخر نجد الحطابين والصيادين؛ لذا إن كان يمكنك الاختيار فاعمل دومًا مع الأرقام وليس مع الطبيعة. وقد تجاوز جومبيرتز التوقعات الإحصائية؛ إذ عاش حتى سن ٨٦ عامًا.

لا يطيل خبراء التأمين التفكير في الموت؛ إذ تكمن مهارتهم في حساب المخاطر في العديد من المواقف، وهم معتادون على سماع الدعابات القاسية؛ على غرار القول

إن خبير التأمين هو شخص أراد أن يكون محاسبًا لكنه لم يتمتع بدرجة كافية من الحضور الشخصي. يجسد فيلم «عن شميت» الذي عرض عام ٢٠٠٢ شخصية — لعب دورها جاك نيكلسون — لخبير تأمين مشاكس فقد لتوه زوجته. غضبت جمعية خبراء التأمين لدرجة دفعتها لنشر رد فعلها الرسمي التالي للفيلم على موقعها الإلكتروني: «إن تجسيد خبراء التأمين كأفراد ثائري الشعر ومهووسين بالرياضيات ومنعدمي العلاقات الاجتماعية هو تجسيد غير صحيح بنسبة ٩٧,٢٨٨٩٢٪.» قد يأتي علماء الفلك خلف خبراء التأمين في الترتيب الأبجدي للمهن، لكنهم يفوقونهم بريقًا على الشاشة الفضية، ونستحضر هنا داريل هانا («روكسان»، ١٩٨٧) وجودي فوستر («كونتاكت»، ١٩٩٧) كنماذج حديثة.

(٢-٢) الشيخوخة لا ترحم أحدًا

التقدم في العمر يثير الضيق، وما يزيد تلك الحقيقة قسوةً هو الشك في أن فترة الشباب ضاعت هدرًا. على الأقل يكون معدل الضعف طفيفًا في مرحلة منتصف العمر، حتى إنني أستطيع تجاهل الفقد البطيء لمرونة الجسد والتآكل التدريجي لحدة حواسي (أو ربما لا أستطيع التذكر …) كانت المكاسب المتعلقة بطول العمر في القرن الماضي مبهرةً، لكن ثمة تراجعًا في المكاسب؛ إذ تزداد معدلات الوفاة بسبب المرض التنكسي والسرطان. وكما ذكر ييتس: «تتداعى الأشياء، ويعجز المركز عن السيطرة على الأطراف.» لقد صُدمنا جميعًا مما آل إليه حال تيثنوس على يد زيوس حين مُنح الخلود، لكنه لم يُمنح الشباب الدائم؛ نتيجة ذلك صار واهنًا خَرِفًا. فالشيخوخة تشبه الطريق الصخري الذي ينتهي بجدار، يمكننا تحريك الجدار للوراء قليلًا لكننا لا نستطع هدمه (إلا إذا كنت من مؤيدي الثنائية المتعصبين).

الشيخوخة عملية غامضة؛ فلم يتوصل أحد بعد لعملية بيولوجية أساسية تتحكم فيها، وتعقد كيمياء الخلايا والوراثة السكانية يجعلان من تحديد الأسباب الكامنة وراءها أمرًا صعبًا للغاية. ربما تتمثل المعضلة الكبرى في الفصل بين السبب والمسبب. على سبيل المثال، ليس هناك دليل واضح يؤيد الافتراض المغري للغاية الذي يذهب إلى أن المرض هو ما يسبب الشيخوخة والوفاة.

تندرج نظريات الشيخوخة ضمن فئتين: إما كسِمَة أو عِلَّة. في نظر المذهب الذي ينظر إلى الشيخوخة بوصفها علة أو «عيبًا» تحدث الشيخوخة نتيجة تدهور لا سبيل

لتغييره على المستوى الخلوي؛ فالجسم نظام ميكانيكي كالسيارة، وفيه يسبب الخلل أو التأكسد أو أنواع أخرى من تلف الجزيئات تداعي أجزائه. يمكننا علاج صور المرض الفردية كالتهاب المفاصل والمياه البيضاء ومرض القلب — كما نصلح المحرك أو الفرامل أو نغطي طلاء السيارة بطلاء جديد — لكن يظل السبب غير قابل للعلاج. ومن وجهة النظر هذه يكون إجراء الأبحاث عن سبل مقاومة الشيخوخة أمرًا مضللًا؛ لأن التدهور أمر لا مفر منه.

تذهب نظرية الجذور الحرة إلى أن الشيخوخة تنتج عن الذرات والجزيئات التي تحمل إلكترونات منفردة. تنشأ العوامل المؤكسدة عن التفاعلات الأيضية بالخلية، وهي موجودة في البيئة، لكنها أيضًا غير مستقرة وشديدة التفاعل؛ لذا هي تؤدي إلى ضرر كيميائي بالغ داخل الخلايا. من المفترض أن تكون الشيخوخة هي التأثير التراكمي لتلف الجزيئات على آلية الخلية؛ بمعنى أن أجسادنا «تصدأ» من الداخل. من المؤكد أن الكثيرين مقتنعون بذلك؛ فمبيعات سوق المكملات الغذائية المضادة للأكسدة كفيتامين ج وفيتامين ﻫ بلغت ٣ مليارات دولار عام ٢٠٠٧، لكن بينما تلعب الجذور الحرة دورًا في أمراض معينة ذات صلة بالسن كالمياه البيضاء، قدمت التجارب ذات الشواهد التي أجريت باستخدام مضادات الأكسدة على الفئران نتائج غامضة، وليس هناك دليل على أن الجذور الحرة تسبب الشيخوخة بصورة عامة.

الفكرة البديلة هي أن الشيخوخة سمة جوهرية من سمات التطور؛ أي إنها عملية منظمة أو مبرمجة وراثيًّا. لقد ثبت أنه من الصعب تحديد الجينات المسئولة عن الشيخوخة، ومع ذلك فإن النمو والتكاثر والشيخوخة تعد مراحل ثابتة لدى العديد من الثدييات، وهو ما يشير إلى أن الشيخوخة هي نتيجة للبرنامج الوراثي الذي يتحكم في التطور. ثمة اضطرابات نادرة يتسبب فيها جين مارق واحد في زيادة معدل الشيخوخة لدى البشر، وهو ما يؤدي في بعض الحالات إلى الإصابة بأمراض قلبية حادة لدى المراهقين، وفي حالات أخرى يمكن لوقف نشاط جين واحد في الديدان والفئران أن يزيد من عمرها ستة أضعاف (الشكل ٢-٤).

يبدو أن التقدم في العمر يعارض نظرية التطور لداروين. لماذا قد يفضل التطور عملية تزيد من معدل الوفاة وتقلل من القدرة التناسلية؟ أحد الاحتمالات هو أنه يمكن اختيار الجينات التي لها عواقب سيئة في وقت لاحق من العمر ما دام لها مزايا في وقت مبكر من العمر. الاحتمال الآخر يطلق عليه اسم «الجسد المستغنى عنه»؛ إذ يكون من

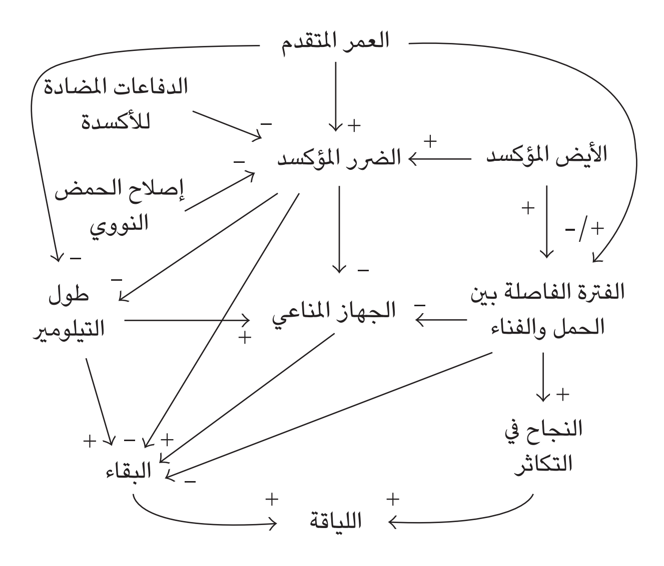
الأفضل تخصيص الموارد للتكاثر أكثر من الإصلاح في العالم المليء بالأخطار الخارجية. ومع أنه قد يكون مهمًّا أن نشرح القاعدة العامة القائلة إن الكائنات الحية تفقد لياقتها مع التقدم في العمر، فيمكننا أن نتعلم الكثير من الكائنات التي تتحدى تلك القاعدة.

(٢-٣) الاقتراب من الخلود

ليست الشيخوخة أمرًا حتميًّا أو شاملًا، وكمثال على تعقد الأمر، تدبَّر «حد هايفليك»؛ هذا الاكتشاف، الذي سمي باسم أحد باحثي علم الوراثة، يقول إن الخلية العادية في أحد المستنبتات تنقسم حوالي ٥٠ مرة قبل موتها، وهذا الحد يظهر لأن الكروموسومات جميعها تنتهي بجزء متكرر من الحمض النووي يطلق عليه اسم تيلومير. والتيلوميرات هي مستودعات من المعلومات قابلة للاستنفاد، وحين تنفد لن يعود في استطاعة الخلية أن تتكاثر، وهو ما يبدو أنه يدعم فكرة أن الموت على مستوى الخلايا أمر مبرمج مسبقًا. لكن التيلوميرات مفيدة أيضًا؛ لأنها تمنع الكروموسومات من الاندماج وإعادة ترتيب نفسها، وهو سبب رئيسي للسرطان، بدلًا من مجرد تكرار نفسها.[٩]

يتسم النمط الظاهري للشيخوخة لدى البشر بفشل أي جهاز أو نسيج أو عضو، وحين تفشل «أضعف حلقة» للخلايا يكون الموت هو النتيجة. ينطبق هذا الأمر على المئويين أيضًا؛ فما من شخص يموت ببساطة جراء «الشيخوخة». فحين نتقدم في العمر نصير أكثر عرضة لأمراض معينة، لكن الشيخوخة ذاتها ليست مجرد مجموعة من الأمراض. والتركيز على أمراض بعينها يمكن أيضًا أن يشتت انتباه الباحثين عن الآليات العامة للشيخوخة التي تشمل جميع الأمراض.

بعض الأنواع لا يبدو عليها أنها تتقدم في العمر؛ فلدى طائر النوء ليتش — وهو طائر بحري صغير يعيش في المحيطات الشمالية — تيلوميرات تزداد طولًا مع التقدم في العمر، ومن ثم تعد خلاياه خالدة في جوهرها. أيضًا من المتعذر تمييز كبد ورئتي وكليَتَي سلحفاة مئوية عن أعضاء أخرى في منتصف العمر. وللسلاحف القدرة على التحكم في سرعة عملية الأيض لديها، ولو لم تقع فريسة لمرض أو لكائن مفترس فقد لا تشيخ. على نحو مماثل يهزم السمك الصخري وسمك الحفش وسرطان البحر الزمن؛ فالسمك الأكبر سنًّا ليس أضعف أو أقل رشاقة أو أكثر عرضة للمرض أو أقل لياقة على أي نحو من نظيره الأصغر سنًّا، وجميع تلك الأنواع تواصل النمو وتصبح أكثر خصوبة مع تقدمها



شكل ٢-٤: يوضح الشكل التداخل المعقد للعوامل المساهمة في الشيخوخة؛ إذ تظهر به كل من الآثار السلبية والإيجابية على اللياقة، التي تتجسد على صورة بقاء أطول ونجاح في التكاثر. من الصعب التحكم في تلك العوامل أو حتى فهمها في نوع واحد، لكن حين يتعلق الأمر بأكثر من نوع واحد يصير تباين البيئة عاملًا مهمًّا. (Carol Vleck, Iowa State University, and Springer)

في العمر. والمدى العمري لنوع واحد من السمك الصخري يتراوح من اثني عشر عامًا إلى ٢٠٠ عام، مع أن جميعها يعيش في البيئة نفسها.

كمثال حقيقي على الخلود، سنتحول إلى أحد أنواع قناديل البحر؛ عرضه حوالي ستة ملليمترات، وله معدة حمراء اللون على نحو زاهٍ، ومجسات يتراوح عددها من ٨٠ إلى ٩٠ مجسًّا. يعيش قنديل التيولا (اختصارًا لتيورتبسيس نيوتراكولا) في جميع أرجاء محيطات العالم. ويرجع سبب تفرده بين أفراد المملكة الحيوانية إلى تمتعه بدورة حياة منعكسة بعد الوصول لمرحلة النضج الجنسي؛ بحيث يعود بعدها إلى حالته البسيطة الأولى، وبمقدوره تكرار دورة الحياة هذه إلى ما لا نهاية، وبذلك لا يموت.

كيف تفعل هذه الحيوانات هذا الأمر؟ وما الميزة الانتخابية للتمتع بطول العمر؟ يستخدم سرطان البحر إنزيمًا خاصًّا يمنع تحلل التيلوميرات، ويمكنه تجنب الإصابة بالسرطان بطريقة ما. لقد أوجد السمك الصخري مضادات أكسدة خاصة به. السبب وراء ذلك غير معروف في كثير من الأحيان، لكن الآليات الانتخابية الطبيعية لطول العمر مفهومة. فكل من سمك بطلينوس الذي يعيش في المياه القطبية الشمالية وأشجار الصنوبر مخروطية الشكل يعيشان في ظروف مزدحمة، لكنها مستقرة يندر فيها وجود فرص جديدة للنضج. ومن المفيد للكائن من هذا النوع أن يُعمر أكثر من جيرانه؛ بما يتيح لنبتاته الصغيرة أو يرقاته أن تجد مكانًا للنمو، وهذا يوجد سباقًا للتسلح ضد الشيخوخة.

ما من حل بسيط للاختلاف بين وجهتي النظر اللتين تنظران للشيخوخة كعلة أو كسمة بيولوجية، فلو أن الشيخوخة تحدث نتيجة التلف التراكمي على مستوى الجزيئات، فلماذا يتلف جسد الفأر أسرع بمئات المرات من جسد الإنسان؟ قد تكمن الإجابة في وجود آليات إصلاح أفضل لدى الإنسان لم يتم التوصل إليها بعد. على الجانب الآخر يمكن لأحد الجينات أن يجعل من حامله أكثر قوة وذكاءً وأكثر مقاومة للمرض، لكنه لا يستطيع القضاء على جميع الأسباب الخارجية للتلف والتآكل في البيئة. لكن وجود الحيوانات دائمة الشباب والجينات القابلة للتحديد التي تنظم عملية التقدم في العمر يجعل الباحثين متفائلين بحذر بشأن قدرتنا في يوم من الأيام على أن نوقف تقدم عجلة الزمن، وأن نزيد نطاق عمر الإنسان عن مستوياته الحالية.

(٣) من التراب إلى التراب

(٣-١) الموت والاعتلال الجسدي

إن البدايات والنهايات جزء من نسيج الحياة وإيقاع الكون، لكن الزمن نفسه غامض على نحو بالغ. ينشأ إحساسنا اليقيني بسهم الزمن من العمليات الفيزيائية الأساسية. ليس للذرات المفردة عدادات زمنية، ويمكن لتفاعلات الجسيمات أن تحدث مع اتجاه الزمن أو على نحو معاكس له، إلا أن الصفة الطبيعية لمجموعات الذرات هي التقدم إلى الأمام بالتوافق مع مسار الزمن. يمكننا أن نتخيل أكوانًا بديلة — وهو افتراض بعيد لكنه مقبول من منظور الفيزياء — لا يتدفق فيها الزمن إلى الأمام، وفي هذا الصدد يتصادف أن كوننا لديه قصة يحكيها.

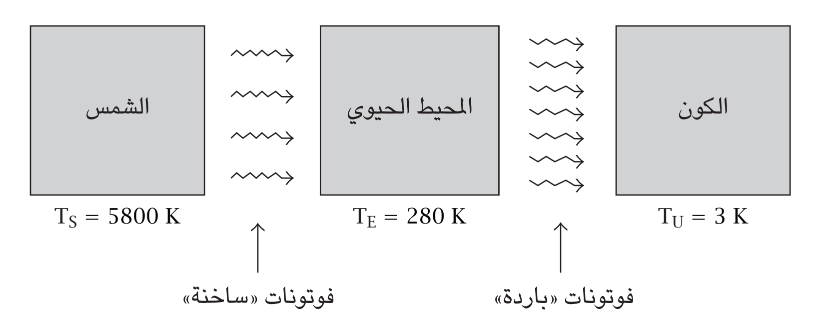
لكن القصة قد تكون عقيمة إن لم يكن هناك آذان تصغي إليها. إن الحياة واحدة من أروع سمات الكون. والفضاء هو حيز من الفراغ يكاد يكون مفتقرًا إلى نبض الحياة بصورة قاطعة. وليست العمليات البيولوجية ممكنةً بقدر ما نعلم إلا على سطح أحد الكواكب أو الأقمار الموجود على قرب مناسب من نجم ملائم. تمر الحياة مرورًا عابرًا، وما حياتنا نحن البشر إلى عمر الكون إلا كطرفة عين.

يمكن وصف تطور الكون بأنه عملية تقدم تدريجية إلى درجة أعلى من الأنتروبيا. والأنتروبيا مصطلح يضم في ثناياه كلًّا من الاضطراب والفوضى والعشوائية وفقد المعلومات. ظاهريًّا، يبدو أن العمليات البيولوجية تنتهك هذا التدرج؛ فحين يتحول شيء غير حي إلى آخر حي فهو يصير أكثر انتظامًا وذا بنية أكبر وقادرًا على ترميز المزيد من المعلومات، لكن الخلية أو الكائن الحي ليس النظام بأكمله. وللتحدث كما ينبغي عن الأنتروبيا والحياة البيولوجية لا بد من وضع تدفق الطاقة إلى الحياة ومنها في الاعتبار.

تستطيع الكائنات الحية أن تبقي على معدل الأنتروبيا لديها منخفضًا؛ لأنها تحصل على الطاقة في صورة غذاء. والنظام الذي تتمتع به مكتسب على حساب الاضطراب في العناصر الغذائية التي تستهلكها. في التمثيل الضوئي ينبع تنظيم الجزيئات الحيوية من الطاقة العشوائية لضوء الشمس. بدلًا من النظر إلى الأنتروبيا على أنها اضطراب، من المفيد بدرجة أكبر أن يُنظر إليها على أنها حرارة، وهي أكثر أشكال الطاقة عشوائية.[١٠] في التمثيل الضوئي يحفز ضوء الشمس تفاعلًا كيميائيًّا دوريًّا، وتُنتَج الحرارة بالإضافة إلى سكر الجلوكوز. نحن والحيوانات الأخرى نشع الحرارة في البيئة، وهو الأمر الناتج عن زيادة معدل الأنتروبيا بالطاقة التي نستخدمها في العيش والنمو.

تعجُّ الأرض بالحياة، ومع أن الشمس قد لا تبدو بالشيء المهم لسكان المدينة، فإنها أساس هرم الحياة. فالمحيط الحيوي يحظى بطاقته من ضوء الشمس، وبهذا تُعدُّ الحياة على الأرض محطة حرارية وسيطة بين الطاقة المشعة الساخنة المركزة المنبعثة من سطح الشمس والمسار البارد المشتت للفوتونات المنخفضة الطاقة في الفضاء القائم بين المجرات (الشكل ٢-٥).

تمدنا الأنتروبيا بإطار عمل مجهري يمكننا من فهم مرور الزمن؛ فثمة فقد عشوائي في دقة التفاعلات الجزيئية، وهو يتراكم ليفوق بصورة ثابتة نظم الإصلاح والصيانة. يعد مرض ألزهايمر مثالًا مؤسفًا على ذلك. يتجسد ازدياد الأنتروبيا في تلك الحالة في صورة شبكة من التغيرات التفاعلية المرتبطة بالعمر التي تطرأ على المخ وتولد تدهورًا



شكل ٢-٥: يبدو أن الوجود المستمر للمحيط الحيوي يعد استثناء للميل الكوني لزيادة الاضطراب. إن مصدر الأنتروبيا السلبية للحياة على الأرض هو الطاقة المنظمة والموجهة للضوء القادم من الشمس. فالفوتونات تنحل في المحيط الحيوي عند درجة حرارة وسيطة، وتتحرر في الفضاء كإشعاع حراري ذي درجة حرارة أقل، ومن ثم، تتحول فوتونات «المصدر»، بحرارتها البالغة ٥٨٠٠ درجة كلفنية، إلى فوتونات «خامدة» حرارتها ٣ درجات كلفنية. أيضًا يُوجَّه ضوء الشمس ولا يعترض المحيط الحيوي سوى واحد في المليار منه، لكن الكوكب يشع الحرارة في كل الاتجاهات مما يزيد من الأنتروبيا. (Marek Rowland–Mieszkowski, Digital Recordings)

عصبيًّا ومعرفيًّا لدى المسنين. ويمكن لنموذج بسيط لتولد الأنتروبيا في عملية الأيض لدينا أن يتنبأ بدقة بالمدى العمري للذكور والإناث.

لا مهرب من الأنتروبيا، لكن إن كانت الأنتروبيا سجانًا فنحن سجناء يتمتعون بأماكن معيشية مريحة وقدر كبير من الحرية. فالبيئة تحوي طاقة حرة وفيرة لإنشاء بُنى جديدة، ويمكن للكائنات الحية أن تحتاط مسبقًا ضد التحلل والموت لوقت طويل عن طريق آليات التكيف والإصلاح الجيدة. حاول فحسب أن تتجاهل أجزاء جسدك الواهنة.

(٣-٢) تجميد في الزمن

أكتب هذه الكلمات وأنا أبلغ من العمر ٥٣ عامًا. أنا أمارس التمرينات الرياضية، وأتناول طعامًا طيبًا على نحو معقول، ومنهمك بشدة في نسيج الحياة بما لا يتيح لي التفكير في الكيفية التي قد تنتهي بها، ومع أن لديَّ خيالًا قويًّا، فإنه ليس جيدًا بما يكفي لفك لغز ما سيحل بي بعد فنائي. يتحدث أشخاص ممن أعرفهم عن دخول الجنة ودورات الميلاد والوفاة والاستمرارية ككيان أثيري غير ملموس. وأنا أصغي إليهم باهتمام مهذب، لكنني كشخص لاأَدْرِيٍّ، لا أجد الأساس الذي يجعلني إما أؤمن بهذه الأفكار أو أنكرها.

إن حالفني الحظ فسأسخر من الأنتروبيا لمدة ٣٠ عامًا أخرى أو أكثر، لكن بمرور كل عام يموت حوالي ٦٠ مليون شخص ويبدو الأمر خسارة كبيرة. ماذا لو أمكنهم البقاء مع عائلاتهم، والاستمتاع بالموسيقى وسكون الفجر، ومواصلة العمل والإنتاجية؟ على الجانب الآخر، لو كان كل ما تفعله التكنولوجيا الطبية هو إضافة سنوات عجاف من التدهور إلى نهاية حياتنا، ربما ينبغي علينا استغلال الطاقة التي نبذلها في تجنب المحتوم واستثمارها في عيش الوقت الذي نتمتع فيه بقدراتنا على نحو مفعم بالنشاط. الموت شيء سيئ، لكن إطالة المحتوم قد تكون أسوأ.

من منظور مؤيدي منهج تجميد الجثث قد يبدو هذا الحديث انهزاميًّا. حتى سبعينيات القرن العشرين، كان ثمة خياران متاحان للمرء عندما يموت: التحلل في الأرض أو الاحتراق في النار. الآن صار هناك خيار ثالث: أن تُجمد جثمانك وتأمل في أن يزيل آخرون طبقات الثلج عنك مستعينين بتكنولوجيا مستقبلية. بإمكانك تجميد جثمانك في درجة حرارة النيتروجين السائل التي تبلغ −١٩٦ مئوية (−٣٢١ فهرنهايت) مقابل ١٥٠ ألف دولار، ويمكنك تجميد الرأس وحسب لقاء نصف هذه التكلفة. قد يبدو هذا الخيار شنيعًا، لكنه منطقي؛ لأن تجميد الجثث يقوم على فكرة أن الذاكرة والهوية مخزنان في أنسجة المخ، وفي المستقبل سيتمكنون بالتأكيد من تشكيل جسد رائع لك.

لاقى تجميد الجثث اهتمامًا لا يتناسب مع عدد الأشخاص الذين أقدموا عليه؛ فأقل من ٢٠٠ شخص — بعضهم بلا رءوس وبعضهم برفقة حيواناتهم الأليفة — مجمدون في منشأتين عاليتي التقنية؛ إحداهما تديرها مؤسسة «ألكور» لإطالة الحياة في مدينة سكوتسديل بولاية أريزونا، والأخرى يديرها معهد تجميد الإنسان في مقاطعة كلينتون بولاية ميشيجن، وتحتفظ كل مؤسسة منهما بقائمة «انتظار» بها حوالي ألف شخص. كان تجميد الجثث قد عانى تراجعًا عام ١٩٧٩ حين تسبب نقص التمويل في

«ذوبان» تسع جثث. يا للهول! يبدو أن من ينضمون إلى قائمة التجميد لديهم إيمان مفرط باستمرارية شركات الخدمات. تدعي كلتا الشركتين المهتمتين بتجميد الجثث أنهما تمكنتا من حل مشكلة تلف الخلايا الناتج عن تشكل بلورات الثلج أثناء التبريد.

إلى الآن يُحتفظ بالموتى في مستودعات كئيبة خارج الضواحي. ويعتزم المهندس المعماري الشهير ستيفن فالنتين — مصمم متحف الهولوكوست في واشنطن ومحطة قطار لونج آيلاند في نيويورك — تغيير ذلك؛ سيرتفع مبنى «سفينة الزمن» الذي صممه على شكل كاتدرائية معاصرة ممتدة على مساحة أربعة وعشرين ألف متر ذات مناظر طبيعية ويضم خمسين ألف جثمان مجمد. سيمر الضباب الرقيق فوق ساحته المركزية وستعكس مراياه المائلة عند محيطه الخارجي السماء من فوقه. يقول عنه: «إنه قلعة فورت نوكس للمواد البيولوجية، وقد يكون سفينة نوح للمرور إلى المستقبل.»

مَن هؤلاء المبشرون الحالمون؟ معظمهم يفضلون البقاء مجهولي الهوية، لكن أولئك الذين لا يفضلون ذلك هم في الغالب رجال من رواد الأعمال والخبراء التقنيين. يقال إن جسد والت ديزني خضع للتجميد عام ١٩٦٦، ودُفن أسفل متحف شمع قراصنة الكاريبي، لكن الحقيقة هي أن جسده قد أُحرق، وتوجد بقاياه في مقبرة فورست لون. يُحتفظ بجسد ديك جونز، أحد مؤلفي المسلسل التليفزيوني «كارول بيرنيت شو»، في مؤسسة «ألكور» التي تحتفظ له بجائزة إيمي التي فاز بها مسلسله حتى يمكنه أن يستعيدها فور استيقاظه. وأبرز المشاهير الذين خضعوا للتجميد تيد ويليامز، آخر رجل سجَّل معدل ضربات قدره ٠٫٤٠٠ في دوري البيسبول. لقد حُفظ تيد ويليامز — «محطم المضارب الرائع» — في وضع مقلوب في مدينة سكوتسديل. وكان نائب رئيس سابق لمؤسسة «ألكور» قد اقترح — ليس على سبيل الدعابة تمامًا — أربعة أسباب تدعو الناس للقدوم إلى المنشأة: أنهم يرهبون الموت بشدة، حتى إنهم سيجربون أي شيء، ويتصفون بالنرجسية الشديدة، وليس بيدهم ما يفعلونه لدرء الموت، ويستمتعون بأنهم جزء من أقلية محل سخرية.

إن مخ الشخص البالغ هو شبكة كهروكيميائية مكونة من ١٠٠ مليار خلية عصبية و٦٠ تريليون تشابك عصبي. ومن العسير للغاية أن نتخيل أنه يمكن إعادة هذا المخ إلى الحياة عن طريق أي تكنولوجيا مستقبلية. وفي حين يعد البقاء الشخصي محل شك، فليس بقاء الإنسانية كذلك؛ لأنه يمكن تجميد البويضات والحيوانات المنوية دون أي آثار عكسية.[١١] جرت بنجاح عمليات حمل من أجنة جرى تجميدها لمدة تسع سنوات،

ولا يُظْهِر الأطفال الذين وُلدوا من تلك الأجنة — والذين يطلق عليهم اسم «المتجمدين» — أي زيادة في العيوب الخلقية التطورية أو الشذوذ. يعترف مؤيدو فكرة تجميد الجثث بأنه فعل غير متوقع العواقب، لكنهم يذهبون إلى أنه فيما عدا التكلفة ليس له عيوب كثيرة؛ فما دمت ميتًا بالفعل، فما أسوأ شيء قد يحدث لك؟

(٣-٣) لم يمت بعد

قد يكون أساس فكرة التجميد خاطئًا، لكن الفكرة نفسها مرتبطة بنقاش متواصل عن تعريف الموت. كنا قد تطرقنا في الفصل السابق لفكرة البقاء فيما وراء نطاق الجسد، لكن النقطة التي يستسلم فيها الجسد هي أيضًا محل اهتمام. كان ديفيد إيتنجر، ابن مؤسس الحركة، قد قال: «إن الموت هو مجرد النقطة التي يستسلم فيها الطبيب في إطار التكنولوجيا الحالية. وهذا تعريف قانوني وليس طبيًّا.» ومنذ عام ١٩٦٨ تبنَّت معظم البلدان المتطورة تعريفًا للموت يقوم على خمود نشاط المخ، وليس القلب أو أي عضو آخر.[١٢]

القلب هو المحرك الذي يبقي على المخ زاخرًا بالأكسجين، وعندما يتوقف القلب يعتبر المخ ميتًا بعد مرور خمس دقائق بدون نبضات كهربائية، ومع ذلك، فقد دفع ازدياد الطلب على عمليات زراعة الأعضاء الأطباءَ إلى تغيير إجراءاتهم من أجل الحصول على الأعضاء وهي لا تزال «طازجة»، وكثيرًا ما ينتظرون حتى تتوقف نبضات قلب المريض المتوفى، لكن بدلًا من انتظار مرور تلك الدقائق القليلة حتى يموت المخ أيضًا، يتوقعون المحتوم ويعلنون وفاة المريض على الفور كي يمكنهم حصد الأعضاء. فالموت هنا متوقف على القرار بعدم إجراء الإنعاش وليس «استحالة» الإنعاش.

إن كان ذلك يُشعرك بعدم الارتياح، فثمة ما هو أسوأ؛ إن الممارسة الطبية القياسية المتبعة عقب السكتة القلبية قد تعجِّل فعلًا بوفاة المرضى الذين يحاول الأطباء إنقاذ حياتهم. تحدث حوالي ٢٥٠ ألف حالة سكتة قلبية سنويًّا في الولايات المتحدة، والبقاء حيًّا هي مسألة حظ في المقام الأول، وتعتمد على الاستجابة لنداء الطوارئ ومدى توافر سبل الإنعاش القلبي الرئوي. إن وقع هذا الأمر لك، فاحتمالية أن تموت هي ٩٥٪. وكما رأينا في الفصل السابق فبعض الباحثين يتشككون في أن الموت محتوم بنسبة ١٠٠٪، لكن دعنا نفترض أنه شيء ينبغي تجنبه مهما كلف الثمن، وذلك على سبيل النقاش فحسب.

إنْ توقف قلبك عن الخفقان فسوف تستنفد الخلايا العصبية في المخ البالغ عددها مائة مليار خلية الأكسجينَ المتبقي بها في غضون ٢٠ ثانية، وسيتوقف جميع النشاط الكهربي. إن ذهبت إلى إحدى المستشفيات فسيحاول الأطباء إنعاش قلبك باستخدام أحد الأجهزة المزيلة للرجفان، وإن نجح الأمر (وحتى إن لم ينجح) فسيوصلونك بأجهزة ضخ الأكسجين. ومع ذلك توضح الأبحاث التي أجريت حديثًا أن موت الخلايا عملية طويلة ومعقدة؛ فكلٌّ من الخلايا العصبية وخلايا القلب يمكنها البقاء دون وصول الدم إليها لساعات، وربما يمتد ذلك إلى يوم كامل، لكن بعد مرور أكثر من خمس دقائق دون تزويدها بالأكسجين تموت الخلايا حين «يُستأنف» تزويدها بالأكسجين. من الواضح أن تشبُّع الخلايا المفاجئ بالأكسجين أثناء مرورها بحالة توقف يحفز آلية التدمير الذاتي التي عادةً تحميها ضد السرطان.

إليك ما يعتقد الباحثون أنه يحدث: إن الطلب النهم للقلب والمخ على الأكسجين يعني أن الافتقار إلى الأكسجين هو أمر مهلك حقًّا، لكن الموت على المستوى الخلوي أمر معقد ويستغرق ساعات، وربما أيامًا حتى يكتمل. يعتقد باحثون أمثال لانس بيكر، الذي يعمل بمركز علم الإنعاش بجامعة بنسلفانيا، أن الإجابات عن ذلك تكمن في الميتوكندريا، وهي البُنى الأنبوبية الموجودة داخل الخلايا التي يتحد فيها الأكسجين بالجلوكوز لإمداد أجسامنا بالطاقة التي تحتاجها كي تؤدي وظائفها. تبدأ عملية موت الخلايا بالميتوكندريا التي تتحكم في الاستماتة، وهي آلية التدمير الذاتي للخلايا التالفة أو تلك التي لا حاجة لها. تنتشر خلايا السرطان عن طريق إيقاف الميتوكندريا عن العمل، بحيث تتعطل آلية التدمير الذاتي، ويبحث المتخصصون في أمراض السرطان عن سبل لإعادة تشغيل الميتوكندريا. يحاول الأطباء أمثال لانس بيكر أن يقوموا بالنقيض عن طريق الحيلولة دون الانتحار الذاتي للخلايا التي تَلِفت بسبب نقص الأكسجين، لكن ليس تلك الخلايا التي لا سبيل لإصلاحها.

يبدو أن ثمة إجراءً أفضل في حالة السكتة القلبية، وهو الاستخدام المتأخر والتدريجي للأكسجين، لكن مع التبريد الفوري والشديد للمريض. كان معروفًا لوقت طويل أن الأشخاص الذين يقعون من فتحات جليدية يمكنهم البقاء على قيد الحياة على نحو غير متوقع بعد الانغمار الطويل في الماء المثلج. وقد لاحظ الجراح العام للإمبراطور نابليون أن الجنود المصابين الذين بقوا على الأرض الجليدية سجلوا معدلات أعلى للبقاء على قيد الحياة مقارنةً بأولئك الذين كانوا يحتشدون بالقرب من النيران. ما من أحد يعلم كيف

يحدث ذلك، لكن إبطاء عملية الأيض عن طريق خفض درجة حرارة الجسم وتجنب انتحار الخلايا بسبب تلقيها لكمية زائدة من الأكسجين يوفر قدرًا كافيًا من الوقت يسمح للعديد من ضحايا الأزمات القلبية بالتعافي.[١٣]

إن الأمل ليس استراتيجية، أمَّا منع أغلب حالات الوفاة جراء الأزمات القلبية وإتاحة عقد إضافي من الزمن أو ما يقارب ذلك للأفراد من أجل تطوير حلول لعيوب طريقة تجميد الجثث، وهو ما سيعبر بنا إلى المستقبل الأطول أمدًا حين يتم انتشالنا من الجليد لتعود إلينا الحياة من جديد على نحو مشابه لما كنا عليه حين أتينا إلى العالم؛ فيبدو خطة مقبولة.

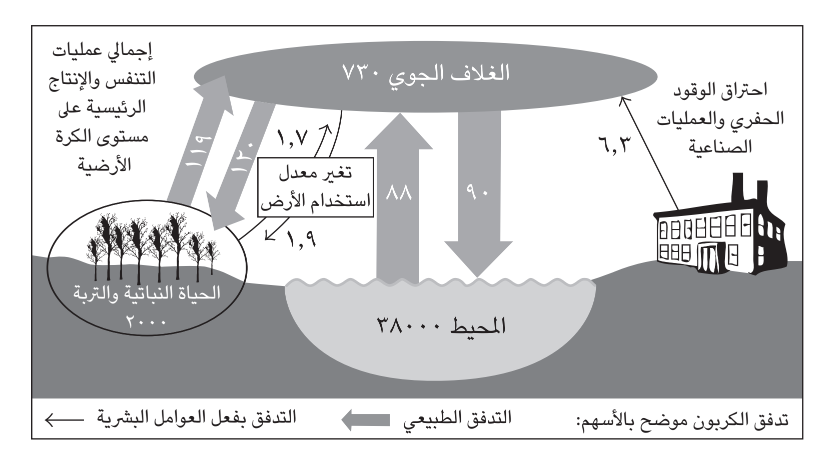
(٣-٤) إعادة سداد القرض

من المنظور الشامل للمحيط الحيوي، ما مولدنا ووفاتنا إلا معاملات تجارية صغيرة في الاقتصاد العالمي للمحيط الحيوي. إن الطبيعة شديدة البخل، ومعظم مكونات أي كائن حي كانت في وقت من الأوقات جزءًا من مجموعة متنوعة من كائنات حية ماتت منذ وقت طويل وسيعاد في نهاية المطاف استخدامها، وربما يحدث ذلك في أنواع ليست موجودة بعد. فكِّر في ذراتك على أنها ذرات مستعملة من قبل.

كما رأينا، أنت لست في العمر المدون في شهادة ميلادك. منذ سنوات قليلة اكتشف العلماء كيفية تمييز الحمض النووي بذرات الكربون ١٤. تتدفق الجزيئات من وإلى الخلية، لكن ذلك ليس هو الحال مع الحمض النووي؛ لذا يمكن استخدام التخصيب بالكربون المشع لتحديد عمر إحدى الخلايا. إن المكون الأساسي للحياة هو الماء، وتحتوي جميع الخلايا على الماء مع أن النسبة تتراوح من ٥٪ في البذور الخاملة إلى ٩٥٪ في قناديل البحر والنباتات الصغيرة. يشكل الماء حوالي ٦٠٪ من وزن الإنسان، ويتخذ جزيء الماء النموذجي دوراته في جسمك في أيام قليلة. ومع ذلك، لاحظ أن تقليل حصة الماء ليس باستراتيجية واعية لتقليل الوزن؛ فالجسم الجاف يتوق بشدة فعلًا إلى الغذاء، ودون إعادة إمداد الجسم بالماء سيموت خلال ١٠ أيام أو أقل؛ إذ يحتاج أي شخص بالغ سليم لتناول ٢٫٥ لتر من الماء يوميًّا.

أما المكون الأساسي الآخر للحياة فهو الكربون، الذي يشكل ما يصل إلى ١٨٪ من وزن الإنسان. شأن الماء، يوجد الكربون بكميات كبيرة في جميع المكونات الأساسية لغذاء الإنسان؛ كالدهون والكربوهيدرات والبروتينات والفيتامينات. تعد ذرات الكربون خالدة، لكن ما مسارها خلال قصة الحياة؟

ثمة ثلاثة مقاييس زمنية شديدة الاختلاف لدوران الكربون: أطولها يبلغ مائة مليون عام أو نحو ذلك، حتى إن ذرة الكربون قد تظل حبيسة القشرة الأرضية قبل أن تتحرر في الغلاف الجوي بفعل النشاط التكتوني أو القوة البركانية. ثمة كمية من الكربون أقل ألفي مرة مدفونة في أعماق المحيطات لمدة تصل إلى ١٠٠ ألف عام، وثمة كمية أصغر من الكربون — قدرها ٠٫٠٠١٪ من المخزون الاحتياطي من الكربون الموجود في القشرة الأرضية — تعد جزءًا من التبادل ثلاثي الاتجاه بين الغلاف الجوي والنباتات والحيوانات على الأرض والميكروبات في الطبقات السطحية من المحيطات. هذه المعاملات النشطة مسئولة عن الطبقة سريعة الزوال من المحيط الحيوي، حيث تغير ذرة الكربون موضعها كل فترة تتراوح من عام إلى ١٠٠ عام (الشكل ٢-٦).



شكل ٢-٦: دورة الكربون، موضحة رسوميًّا على هيئة تدفقات للكربون، ومقدرة بوحدات تبلغ مليارات الأطنان المترية. توجد كميات كبيرة من المخزون الاحتياطي للكربون في المحيط واليابسة والغلاف الجوي والهواء، وتظهر أسرع التبادلات في المحيط الحيوي. وكما عرفنا حديثًا، يمكن للتغيرات الصغيرة في معدل تبادل الكربون في الغلاف الجوي أن يكون لها تأثيرات كبيرة على المناخ العالمي. (National Oceanographic and Atmospheric Administration Earth System Research Lab and the Intergovernmental Panel for Climate Change)

هناك ٨٠ مليار طن متري من الكربون ممثلة في مجموع كل البشر الموجودين على الكوكب. هذا يمثل بالكاد نسبة ٠٫٠١٪ من الكربون الموجود في الكائنات الحية وجزءًا ضئيلًا للغاية من الكربون المتاح في المحيط الحيوي. إننا نشعر بالضآلة في ضوء هذه الأرقام، لكن يمكننا أن نرى فيها تأكيدًا على قدرة كوكبنا الاستثنائية على تكوين مخلوقات مثلنا.

المستوى الثاني من القصة هو مستوى كوني؛ فنحن نقترض ذراتنا من المحيط الحيوي لمدة قصيرة وفي النهاية نعيدها؛ سواء أكان ذلك بدفننا أم بحرقنا. الكربون هو أساس الحياة، والكربون الذي تقوم عليه حياتنا تَشكَّل في مراكز النجوم شديدة الحرارة وأُطلق في الفضاء منذ وقت بعيد للغاية. إن عمر الكون ١٣٫٧ مليار عام، وبعض ذراتنا من الكربون قد ترجع إلى الأجيال الأولى من النجوم الهائلة التي تتجاوز أعمارها ١٣ مليار عام، لكن الغالبية العظمى من ذراتنا من الكربون تتراوح في عمرها من ٢ إلى ٨ مليارات عام. ذرات الكربون تتشكل في النجوم ذات الهيليوم في مراكزها إن بلغت درجة الحرارة ١٠٠ مليون درجة مئوية (١٨٠ مليون درجة فهرنهايت) أو أكثر. ثمة ضرورة لوجود «أتون» استثنائي من أجل طهي المكونات الأساسية للحياة.

العديد من ذرات الكربون تظل مدفونة إلى الأبد في مراكز النجوم الضخمة حين تموت، لكن جزءًا منها يندفع إلى الخارج بفعل نوبات الاشتداد التي تمر بها هذه النجوم في وقت متأخر من حياتها. يعج الفضاء بـ «ضباب دخاني» من الذرات والجزيئات والجسيمات الصغيرة الغنية بالكربون، وهو مخزون يضم أول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) والفورمالدهايد (H_2CO) والسيانوجين (CN) وأحادي كبريت الكربون (CS) والكربورندوم (SiC) والأسيتيلين (C_2H_2) والميثانول (CH_3OH) والبنزين (C_6H_6) بل يضم جزيئات أكبر تصل إلى جزيئات الكربون الكروية (C_{60}). وحين يتشكل نجم جديد يدخل هذا الكربون في المادة التي تشكل الأتربة والغبار والصخور والكواكب وأخيرًا نحن.

هناك تكمن نهاية القصة، ما لم تختر الدفن في الفضاء. فبعد إحراق جثة شخص بالغ يزن ٧٠ كيلوجرامًا تتحول هذه الجثة إلى حوالي ٥ كيلوجرامات من الرماد الغني بالكربون. ومقابل ٢٥٠٠ دولار ستجمع مؤسسة «سيليستس» بمدينة هيوستن جرامًا وحيدًا من بقاياك في أنبوب بحجم قلم الشفاه ثم تطلقها في مدار حول الأرض. ومع ذلك، سيتسبب السحب من بقايا الغلاف الجوي عند ذلك الارتفاع في النهاية في عودة الرماد إلى

الأرض. إن كنت تريد حقًّا أن تغادر تأثير جاذبية الشمس تعتزم مؤسسة «سيليستس» تقديم خدمة بداية من عام ٢٠١١ تمكنك من المشاركة المحتملة في حياة جديدة بتكلفة تبدأ من ١٢٥٠٠ دولار. وحتى الآن الشخص الوحيد الذي حظي بهذا المصير الخاص هو كلايد تومبو الذي سيزور كوكب بلوتو (الذي خرج من زمرة الكواكب) الذي اكتشفه على متن مركبة الفضاء «نيو هورايزونز» التابعة لوكالة ناسا عام ٢٠١٥، ثم سيواصل رحلته في أعماق الفضاء.

أما بقيتنا فعليهم أن يعيدوا ذراتهم المستعارة، ومع ذلك يمكننا التفكير في رحلتها الاستثنائية. فكل منا يستضيف ٤ × ١٠^{٢٧} ذرة كربون. توجد الذرات في مجموعات، ومن ثم فإن عدد الأزمنة التاريخية التي أدت إلى كونها جزءًا من أجسادنا قد يكون أقل بصورة ملحوظة، لكنه لا يزال عددًا كبيرًا. يمكن لكل واحد منا أن يحاول تصور المسارات المتنوعة في المكان والزمان التي أدت بهذه الذرات إلى أن تكون جزءًا من ذلك الكائن القادر على التنفس والتفكير والذي يتساءل عن أصله ومصيره.

الفصل الثالث

مستقبل البشرية

قيل له إنهم ماتوا وهم يضحكون. وضع فينسنت زيجاس هذه الحقيقة المستبعدة في اعتباره وهو يكتب في دفتر يومياته تحت ضوء المصباح المتقطع ويبقي نظره بحذر على الحشرات الكبيرة التي كانت تزحف في خيمته. «هل تسبب بخار عفن خفي في قتل هؤلاء الأشخاص؟ هل انتشر وباء مجهول ذو طبيعة جوية أو كونية أو أرضية في كل الأرجاء بلا رحمة وتسلل إليهم وتسبب في تسممهم وقتلهم؟»

ذلك العام كان عام ١٩٥٠، وكان زيجاس طبيبًا أستراليًّا يعمل في مناطق نائية من بابوا غينيا الجديدة. ضم المشهد الطبيعي الجبلي ما يزيد عن ٧٠٠ قبيلة لكل واحدة منها لغتها، والعديد منها لم يكن يعلم بوجود الأخرى. ومع بزوغ فجر عصر الفضاء، كانت هناك ثقافات تنتمي إلى العصر الحجري تكدح للعيش في غابة مطيرة تغطيها السحب. وفي إحدى القرى صادف زيجاس أفرادًا من قبيلة «فور» يمرون بمراحل متنوعة من سقم شديد. البعض عانى صعوبة في النطق بكلام واضح والسير بغير ثبات والارتجاف المستمر، والبعض الآخر لم يعد باستطاعته السير؛ إذ يستلقون على الأسرَّة ويهزون أطرافهم هزًّا عنيفًا، ويظهرون تغيرًا حادًّا في المزاج ونوبات من الضحك العشوائي. كان ثمة مجموعة أخيرة عاجزة عن ضبط النفس وتغطيها القُرح. استغرق التدرج خلال مراحل المرض عامًا. كانوا يطلقون عليه كلمة «كورو» التي يستخدمها أفراد قبيلة فور للإشارة إلى الارتجاف. جميع الضحايا تقريبًا كانوا من الإناث. وحسب علم زيجاس، كان هذا المرض مهلكًا على الدوام.

لم يستطع زيجاس الربط بين المعاناة التي رآها وطقوس الدفن التي شهدها، والتي كان يقوم فيها أحد أقرباء القروي المتوفى حديثًا من ناحية الأم بتمزيق الجثة،

وإزالة اللحم، ونزع المخ والأعضاء الداخلية. لم يربط ذلك بحقيقة أن السيدات يطعمن الأطفال والكهلة وجبات معدة من تلك الأعضاء الداخلية، أو يقدمن إليهم حساءً ذا لون رمادي باهت معدًّا من المخ.

جاء الربط بين تلك الأمور في وقت لاحق على يد كارلتون جايدوسك، الذي فاز في وقت لاحق بجائزة نوبل عن عمله. لقد استنتج جايدوسك أن مرض كورو لم يكن مرضًا وراثيًّا ولا فيروسيًّا، بل كان مرتبطًا بمرض يصيب الغنم كان معروفًا لمئات السنوات، يسمى بمرض الراعوش، وهو التهاب يصيب الدماغ. لم يُعزل العامل المعدي نفسه حتى أوائل الثمانينيات من القرن العشرين على يد ستانلي بروزينر الذي فاز هو أيضًا بجائزة نوبل على اكتشافه. كانت أمخاخ مَن ماتوا على هذا النحو مليئة بالثقوب كالجبن السويسري. ولم يمت أي من أفراد قبيلة فور بسبب مرض كورو بعد أن توقفوا عن أكل لحم البشر.

إن السبب في إصابة البشر بمرض كورو والغنم بالراعوش، والمرض القريب له وهو «مرض جنون البقر» هو بريون؛ والبريون كائن صغير للغاية مسبب للمرض، ولأنه يبدو غير مهم بدرجة كبيرة من المروع أنه يستطيع أن يتسبب في مرض بشري مهلك لا سبيل إلى علاجه. البريون هو بروتين مشوَّه. وقد فوجئ علماء الأحياء حين علموا أن بروتينًا يمكن أن يكون عاملًا معديًا؛ لأن «المذهب الرئيسي» لعلم الأحياء يذهب إلى أن الأحماض النووية، كالحمض الريبي النووي (الرنا) والحمض النووي (الدنا)، مطلوبة لنقل المعلومات الوراثية. تخيل أن جوربًا واحدًا غير مطوي على نحو سليم في أحد الأدراج يمكن أن يتسبب في وفاة كل سكان أحد المنازل.

* * *

(١) مصير الأنواع

(١-١) الوردة هي الوردة

أفضل سبيل للتعمق في فكرة النوع هو البدء بالحديث عن شيء مألوف؛ شيء له رائحة طيبة أيًّا كان اسمه. تستوطن الورود نصف الكرة الشمالي؛ إذ ترجع حفرياتها إلى العصر الأوليجوسيني منذ ٣٥ مليون عام. زينت الورود كوكبنا لوقت طويل قبل أن يتطور البشر ويعجبوا بها. وقد عُثر على أكاليل الورود في قبور المصريين القدماء، وظهرت في

اللوحات الجصية في كريت التي تعود لعام ١٧٠٠ قبل الميلاد، في ذروة الثقافة المينوية، وفي ألواح الكتابة المسمارية من بلاد الرافدين، واستخدم الإغريق والرومان الورود في مهرجاناتهم الدينية والدنيوية على حد سواء.

تخيل أنني أعطيتك وردتين، وأنهما تختلفان في اللون والرائحة وحجم وشكل البتلات وطبيعة الأوراق والأشواك. هل هما نوعان مختلفان؟ قد يكون اتخاذ القرار بشأن ذلك صعبًا؛ لأن علماء النبات يخبروننا بأن هناك أكثر من ١٠٠ نوع من الورود، وقد يتباين بعض أفراد النوع نفسه بقدر يزيد عن التباين بين الأنواع المنفصلة المتعارف عليها. ومع الدراسة المفصلة للأمر، تصير مسألة تحديد النوع مسألة شائكة بدرجة أكبر. في أواخر القرن الثامن عشر حدث أول تهجين بين الورود المعمرة شديدة الاحتمال التي زرعها الصينيون لآلاف الأعوام والورود الأوروبية التي لا تزهر إلا مرة واحدة في الموسم، وعملت التجارب التالية النشطة على توجيه الطبيعة لإنتاج ما يزيد عن ٢٠ ألف «تنويعة من الورود»، التي، على تباينها، ما هي إلا أشكال مهجنة من مجرد حفنة من الأنواع الأصلية.

ما النوع؟ في البداية فضَّل علماء الأحياء تعريفًا وصفيًّا يقوم على الشكل، وهو ما يعرف بعلم التشكل (أو المورفولوجيا)؛ فشجر الخشب الأحمر يبدو كشجر الخشب الأحمر، والأسد يبدو كالأسد. كان الشكل هو أساس أول نظام تصنيف أحيائي وضعه كارل لينيوس في منتصف القرن الثامن عشر، وهو يجدي للغاية بصورة عامة (الشكل ٣-١).[١] حدد إرنست ماير ١٣٧ نوعًا من الطيور في جبال غينيا الجديدة، وصنف علماء النبات مئات الأنواع من النبات في ولاية تشياباس في المكسيك، وفي كلتا الحالتين لم تختلف نسبة ٩٩٪ من تصنيفاتهم عن «التصنيفات الشعبية» لسكان المناطق المحليين. وحين يتفق الخبراء مع آراء الأشخاص العاديين المبنية على البديهة عادة يعلن كلا الجانبين انتصارهما ويقتنعان بما وصلا إليه.

مع ذلك، تتصف استثناءات القاعدة التي تقول: «إذا كان الطير يبدو كبطة ويسبح كبطة ويصدر صوت البطة، فهو إذن بطة» بأنها متباينة ومحيرة؛ فقد توصل علماء الأحياء إلى عدة أمثلة لأفراد من كائنات موجودة داخل عشيرتين ويصعب للغاية التمييز بينها، لكن مع ذلك لا يتزاوج بعضها من بعض، وهو ما يشير إلى أنها تنتمي لأنواع مختلفة. مثال طيب على ذلك هو نوعان من ضفادع الشجر رمادية اللون تعيش في وسط وشرق الولايات المتحدة، يبدو النوعان متماثلين، ويعيشان في مواطن الغابات نفسها،



شكل ٣-١: صورة توضح ٥٠ نوعًا مجهريًّا مختلفًا من طحلب الدياتوم. توجد طحالب الدياتوم في قاعدة العديد من السلاسل الغذائية البحرية والمائية. في هذه الأمثلة تبدو الأشكال مميزة وجلية للغاية بدرجة تسمح لطريقة التصنيف الحيوي التقليدية بالعمل على نحو جيد. (Randolph Femmer, National Biological Information Infrastructure and the U.S. Geological Survey)

ويأكلان النوع نفسه من الفرائس، ومع ذلك يُصدر كل منهما أصواتًا متباينة أثناء موسم التزاوج لا تجذب إلا أفراد النوع نفسه. وقد أثبت اختلاف عدد الكروموسومات الموجودة بهما حقيقة أنهما نوعان مختلفان.

لا يقدِّم علم التشكل عونًا كبيرًا حين يتعلق الأمر بتصنيف الميكروبات؛ كالبكتيريا التي تتكاثر عن طريق الاستنساخ.[٢] التكاثر اللاجنسي يعمل أيضًا على تعقيد مسألة تعريف الأنواع، كما هو الحال حين تتكاثر النباتات وبعض الحيوانات عن طريق التبرعم. علاوة على ذلك، قد تبدو أفراد النوع نفسه مختلفة للغاية في مراحل مختلفة من دورة حياتها؛ كما هو الحال مع الديدان والفراشات، أو قد تختلف بسبب المحاكاة البيئية؛ فكثيرًا ما تغير إناث الفراشات المنتمية لأحد الأنواع من شكلها لكي تحاكي الأنواع المحلية غير الصالحة للأكل كاستراتيجية دفاعية.



شكل ٣-٢: يعد ازدواج الشكل الجنسي الشديد شائعًا بين العناكب. يتعايش ذكر العقرب صغير الحجم والأنثى الأكبر حجمًا الظاهرين بالصورة (وهما من نوع أرجيوبا أبينسا) بصعوبة، ومن المرجح أن تلتهم الأنثى الذكر بعد التزاوج. ويمكن للتباين الشديد في الحجم والشكل بين الجنسين أن يوحي بأنهما نوعان مختلفان. (Sanba38, Wikipedia GNU License and Creative Commons License)

يمكن أن تكون البيئة العامة مسئولة عن الاختلافات التي قد تجعل الملاحظ غير المتخصص يعتقد أنه ينظر إلى أنواع مختلفة؛ فأحد أنواع النباتات السهمية له أوراق مميزة سهمية الشكل حين ينمو على اليابسة، لكنه يتخذ أوراقًا طويلةً ورفيعةً حين ينمو في الماء. ولنباتات كوب الماء أزهار، أو بالأحرى أوراق معدلة، يمكنها أن تتغير من اللون الأزرق إلى الأحمر وفقًا لعامل حموضة التربة وكمية الألومنيوم التي يمتصها النبات.

قد ترى العين غير المدربة بطة ذات لون بني فاتح وأخرى ذات ألوان مبهجة تجمع ما بين الأخضر والأبيض والأسود على أنهما من نوعين مختلفين وليس كأنثى وذكر من النوع نفسه. يمكن أن يتخذ ازدواج الشكل الجنسي صورًا متطرفة. كان داروين أول من أدرك أن الكائن الصغير الذي عُثر عليه متشبثًا بأنثى البرنقيل هو في الحقيقة ذكر

النوع نفسه. وكثيرًا ما تكون ذكور العناكب أصغر حجمًا بكثير من إناثها، ونحن جميعًا نعلم كيف يمكن أن ينتهي ذلك الأمر (الشكل ٣-٢). ويمكن أن يزيد وزن إناث سمك أبو الشص بمقدار ١٠٠ مرة عن وزن ذكوره. يتصف ذكر سمك أبو الشص بأنه بدائي التركيب، وليس له جهاز هضمي؛ إذ يلتحم بالأنثى ويتطفل عليها فحسب، ليصير جهازًا لإنتاج الحيوانات المنوية. ومن الديدان البحرية نوع نادرًا ما يُرى فيه الذكر لأنه صغير للغاية، ويعيش في الجيب التناسلي للأنثى. وليس الطلاق خيارًا مطروحًا في هذه الحالة.

(٢-١) النوع والجنس

إن كانت المظاهر خادعةً، فما البديل؟ منذ أربعينيات القرن العشرين كان التعريف البيولوجي للنوع هو أكثر المعايير قَبولًا: مجموعة من الكائنات تتزاوج، أو تستطيع التزاوج فيما بينها، فأحد أفراد النوع يمكنه أن يتناسل مع فرد آخر من النوع نفسه، لكن ليس مع فرد من نوع آخر. والمفهوم المماثل على المستوى الوراثي هو تجميعة جينات وهي: كل الجينات الموجودة في مجتمع يتزاوج أفراده فيما بينهم، فكل الأفراد المنتمين للنوع نفسه يتبادلون الجينات مع تلك التجميعة، وهو ما يفسر التنوع الجيني لأحد الأنواع. يبدو الأمر بسيطًا، لكن تظهر الصعوبة مجددًا في التفاصيل والاستثناءات.

لا يمكن تطبيق التعريف البيولوجي القياسي على أي كائن حي يعتمد كل الوقت أو معظمه على التكاثر اللاجنسي، فبين الحيوانات مجتمعات معينة من السحالي والسلمندر تتكون جميعها من الإناث. هي تضع بيضًا لم يُخصب قط ويفقس إناثًا من أجل استكمال دورة الحياة. بل إن التكاثر اللاجنسي أكثر شيوعًا في النباتات، ومن الأمثلة المألوفة على ذلك الهندباء البرية والفراولة والشجر الأحمر. ثمة عملية يتكاثر بها نصف أنواع النبات البالغ عدده تقريبًا ٢٥٠ ألف نوع، وأيضًا الغالبية العظمى من النباتات المزهرة والسراخس، وتُعرف هذه العملية باسم تعدد الكروموسومات، وفيها تتشكل مجموعات عديدة من الكروموسومات. إننا نرث مجموعة واحدة من الكروموسومات من كل والد، لكن يمكن للنباتات أن تملك ثلاث مجموعات (الموز والتفاح والزنجبيل)، أو أربع مجموعات (البطاطس والقطن والكراث)، أو ست مجموعات (القمح والشوفان والكيوي)، أو حتى ثماني مجموعات (الفراولة وزهرة الثالوث).

تأتي بعد ذلك مشكلة السلالات المهجنة؛ فالغراب الأبقع والغراب الجيفي يبدوان مختلفين، ويتزاوج كل نوع منهما داخل مجموعته الخاصة، لكن أحيانًا ما يتزاوج

النوعان ليكوِّنا سلالة هجينة. في حالات أخرى يكون التهجين مقصورًا على منطقة بعينها.[٣] فطيور الصفارية في مقاطعة بولوك وتلك في بالتيمور يقتصر كل منهما على منطقته، لكنهما يمتزجان ويتزاوجان فيما بينهما على شريط رأسي في وسط الولايات المتحدة، فالمجتمعان متمايزان وراثيًّا، لكن جيناتهما قابلة للتبادل عبر منطقة الحدود. لا يبدو أن تدفق الجينات يجعل المجتمعين متجانسين. وعند النظر إلى السلالات المهجنة من منظور آخر فهي تخبرنا بشيء ما عن كيفية تشكُّل الأنواع المختلفة فعلًا.

عادةً ما يفشل التزاوج بين نوعين مختلفين من الثدييات يبدوان متشابهين بدرجة كبيرة؛ لأن النتيجة تكون كائنًا عقيمًا، والبغال مثال جيد على هذا. لكن ثمة سلالات مهجنة من الثدييات أنتجت في الأسر كالأسود الببرية (هجين الأسد–النمر)، والأحصنة الوحشية (هجين الحمار الوحشي–الحصان)، والدلافين الأحوات (هجين الحوت–الدولفين)، ونمور اليغور (هجين النمر–اليغور)، وجِمال الكاماس (هجين الجمل–اللاما)، والبيفالو (هجين ثور البيسون–البقرة). يمكن أن يحدث ذلك في البرية أيضًا في مواقف نادرة مثلما في حالة البلينكس (هجين الببكت–الوشق)، والبيزلي (هجين الدب القطبي–الدب الأشيب)، وهجين الذئب الرمادي والقيوط التي أدت إلى ظهور الذئب الأحمر منذ آلاف الأعوام.

إننا نسير ببطء تجاه منطقة حساسة وهي: وجود حاجز منيع لا تنتهك حرمته بيننا والأنواع الأخرى.[٤] إن لُقح أحد الحيوانات بحيوان منوي لإنسان فلا شيء يحدث؛ لأن حاجز النوع منيع للغاية. نحن نشارك الشمبانزي في ٩٩٪ من سلاسل الحمض النووي، كم من المقنع إذن أن يوجد هجين من الإنسان والشمبانزي؟ لدينا ٢٣ زوجًا من الكروموسومات وللشمبانزي ٢٤ زوجًا؛ لذا يكون الحد الفاصل أن عدم تطابق الكروموسومات يحول دون تشكل جنين قابل للنمو. لكن في مثال آخر قريب الشبه، جرى تزاوج الحصان البلدي الذي يملك ٣٢ زوجًا من الكروموسومات مع حصان برزوالسكي الذي يملك ٣٣ زوجًا من الكروموسومات، وكانت النتيجة ذرية شبه خصبة. كان العالم السوفييتي إيليا إيفانوف قد حاول التهجين بين البشر والقردة كجزء من خطة ستالين لإيجاد جندي يتمتع بقوى تفوق قوى البشر. وما من دليل على نجاحه، لكن فكرة التجربة وحدها تبث الخوف في نفوس معظم الناس.

إن تحديد إمكانية نجاح التناسل بين نوعين أمر بسيط إلى حد ما، لكن تطبيق التعريف البيولوجي بصورة عامة يؤدي إلى مواقف افتراضية. لن نعرف أبدًا هل أمكن التكاثر بين كائنَين منقرضَين عثرنا على حفرياتهما في وقتنا المعاصر. وثمة أنواع لها

ذرية طويلة في سجل الحفريات: هل كان بإمكان كائن ثلاثي الفصوص وجد منذ ٣٤٠ مليون عام التناسل مع آخر وجد منذ ٣١٠ مليون عام؟ ماذا عن العبارة المعقدة «التزاوج المحتمل بين الأنواع»؟ افترض أنه جرى الفصل بين مجموعتين من الحلزونات بطريق مرور سريع. يعد عبور هذا الحاجز أمرًا مهلكًا. نحن نعرف أن المجموعتين «لا» تتزاوجان فيما بينهما، لكن ذلك قد لا يكون كافيًا للإعلان عن أنهما نوعان منفصلان؛ لأننا لا نعلم هل «بإمكانهما» عبور الحاجز أم لا.

فيما يتعلق بموضوع تعريف النوع لم يكن داروين مُشجعًا للغاية؛ ففي عام ١٨٥٦ كتب داروين يقول: «إنه لمن المضحك حقًّا أن نرى الأفكار المختلفة التي تراود أذهان علماء الطبيعة حين يتحدثون عن النوع ... جميعها يأتي، حسبما أعتقد، من محاولة تعريف شيء غير قابل للتعريف.» تكون التعريفات العملية مجديةً في الغالب، لكن مرونة الآليات البيولوجية تحول دون شعور العلماء بالثقة في تعريفاتهم.[٥]

يصطبغ تعريف النوع بطابع شخصي، فحين نقول إننا مختلفون عن القردة، فنحن نعلن انفصالنا، ونعلن ضمنيًّا تفوقنا. كان الغوريلا «جاي» أشهر الحيوانات التي قطنت حديقة الحيوان حين كنت أعيش في لندن وأنا طفل. كان غوريلا فضي الظهر يعيش في المنخفضات الغربية ويزن أكثر من ٢٧٠ كيلوجرامًا، ويصل امتداد ذراعيه إلى ثلاثة أمتار تقريبًا، ويماثل مقاس محيط عنقه محيط خصر الإنسان. كان يهدهد برفق الطيور الصغيرة التي تطير في قفصه، لكن كانت أصابعه القادرة على التقاط قطعة معدنية بقيمة السنت قادرة أيضًا أن تكسر عنق الحارس إن اقترب منها أكثر مما ينبغي. أدرك الآن كعالم أن الحمض النووي لديه يكاد يتطابق جزئيًّا مع الحمض النووي لديَّ. لقد شاهدته آنذاك كطفل دون أي مفاهيم مخزنة مسبقًا، وأذكر إحساسي بالسوء بشأن القذارة التي يتسم بها قفصه. أذكر أيضًا تحديقي في عينيه؛ كانت التجربة عميقةً وتكاد تكون صادمة؛ لقد رأيت الفضول والشفقة والكرامة، لقد رأيت إنسانًا.[٦]

(١-٣) محرك التطور

إن أردنا مناقشة مسألة نهاية البشرية، فعلينا أن نعرف من أين أتينا نحن وملايين الأنواع الأخرى. من السمات الجلية للتطور تكوُّن أنواع جديدة، ومن المذهل — حتى لعلماء الأحياء الذين يفكرون في الأمر طوال الوقت — أن يؤدي سلف ميكروبي مشترك إلى كائنات شديدة التنوع كالفطريات والطحالب والفراشات والأفيال وأفراس البحر.

ومع ذلك يمكن للتقنيات المرتبطة بتطور السلالات أن تتبع الشكل الواسع لهذا التطور على مدار ٤ مليارات عام عن طريق استخدام الانحراف التدريجي لسلاسل الدنا والرنا. وفي عالم الميكروبات، ما النباتات والحيوانات إلا أغصان صغيرة على شجرة الحياة. ومن منظور ذلك السُّلم المزدوج المتشابك الذي يحمل برنامج عمل الحياة بأسرها، جميع الكائنات شيء واحد.

في ليلة ما منذ سنوات قلائل، وبينما كانت محادثة مفعمة بالنشاط والحيوية تدور حولي وأنا بإحدى الحانات، استغرقتُ في التفكير في موضوع وحدة الحياة. بقياس الانحرافات المتراكمة لسلسلة الحمض الأميني لبروتين السيتوكروم، يتطابق الإنسان جزئيًّا مع قرد الربص بنسبة ٩٩٪، في حين يتطابق جزئيًّا مع الدجاج بنسبة ٨٤٪ وبنسبة ٦٨٪ مع العثة و٦٠٪ مع الخميرة.[٧] حدقتُ في كوبي وأدركت أننا لسنا مختلفين تمامًا، أقصد أنا والجعة. إن كان هذا هو التنوع الناتج عن إعادة ترتيب حروف أبجدية جينية واحدة تخيل ما القصص التي قد تُحكى حين يرتبط الأمر بنطاق من الأبجديات الجينية؟

إن كل كائن حي هو تجسيد مادي لمعلومات موروثة مشفرة داخليًّا، وفي علم الأحياء يكون النمط الجيني هو «برنامج العمل» أو مجموعة التعليمات التي تنظم عملية تكوين وتشغيل أحد الكائنات، وهي مكتوبة بأبجدية رباعية الأحرف مزدوجة القواعد من الدنا، ويكون النمط الظاهري هو النتيجة؛ أي التجسيد المادي للكائن. يذهب علماء الأحياء إلى أن النمط الجيني يضم شفرات النمط الظاهري. والجين هو وحدة المعلومات التي تعمل على تشفير سمة معينة، ويطلق على إجمالي كل الجينات في أحد المجتمعات اسم تجميعة الجينات. تؤدي الطفرة إلى تباين طفيف في الشكل الجزيئي للجين، ويطلق عليه اسم الأليل. بعد ذلك يعمل التكاثر على إيجاد تجميعات جديدة من الأليلات يحملها الكائن الوليد؛ مما يؤدي إلى تباين في النمط الظاهري.

أدرك علماء الأحياء المعاصرون أن «حجم» الحمض النووي وتباينه المجهري لا يفسران ثراء عملية التطور، وقد اعتنقوا مبدأ جديدًا يعرف باسم علم الأحياء الإنمائي التطوري. يقر هذا المبدأ بأن النباتات والحيوانات مكونة من وحدات؛ بمعنى أنها كثيرًا ما تنشأ من أجزاء متكررة كالضلوع أو أجزاء الجسم. هو يقر أيضًا بأن التحكم في الجينات أمر معقد؛ فالجينات لا يمكن تشغيلها وإيقاف تشغيلها فحسب، بل يمكن أيضًا تنظيمها عن طريق البيئة، والجينات نفسها يمكن أن تستخدمها كائنات مختلفة

بصور مختلفة. وأخيرًا، إن قدرة النمط الجيني على تغيير نمطه الظاهري استجابة للبيئة تعني أن التغير الجيني يمكن أن يتبع عملية تطور السمات الجديدة لا أن يتسبب فيها؛ فليس كل تطور موروثًا.

إن التباين المحتمل لمادتنا الجينية هائل؛ فهناك ١٠^٦٠٠ تجميعة ممكنة للأليلات البشرية؛ لذا تأكد أنه ما من شخص آخر عاش، أو سيعيش، ولديه التركيب الجيني الذي لديك. والتباين البيئي في النمط الظاهري يعني أن التوائم المتطابقة ليست متطابقةً حقًّا؛ فالوالدان يمكنهما التمييز بينهما، علاوة على أن لكل منهما بصمات أصابع مختلفة. ومن ثم، في ظل هذه الاحتمالية الجينية الكبيرة للغاية، والطرق العديدة للتعبير عنها في بيئة معقدة، يصير لدى عملية التطور مقدار كبير من المادة الخام للعمل عليها من خلال آلية الانتخاب الطبيعي.

كل هذا الخلط والتباين الجيني يكشف عن احتمالات، لا عن مقصد بعينه، فليس لكل شيء معنى. والطبيعة شديدة البخل، لكنها أحيانًا تكون كسولة؛ فللرجال حلمة ثدي لأن للنساء مثلها، ووجود هذه الحلمة لا يتكلف الكثير. وبعض السمات ما هي إلا بقايا لا لزوم لها ولا ضرر منها؛ كالزائدة الدودية وضروس العقل، لذا لم تحاول الطبيعة التخلص منها. وتشكيل المجتمعات على يد البيئة المتغيرة هو العامل الأقوى في التطور، وهو يخلق عددًا من الخاسرين أكبر من الفائزين.

(١-٤) تطورنا نحن البشر

في ضوء ما تقدم، كيف يمكن للأنواع الجديدة أن تتطور؟ إننا نسعى إلى ربط التطور صغير النطاق — التغيرات التي تطرأ على التركيب الجيني لأحد المجتمعات مع تعاقب كل جيل — بالتطور شامل النطاق؛ أي ظهور شكل جديد متمايز من الناحية المادية من أشكال الحياة. يروق لعلماء الأحياء الجدال كثيرًا بشأن معدل التطور، لكنه لا بد أن يكون تدريجيًّا؛ فالطيور لا تبدأ فجأة في الطيران، والرئيسيات لا تنمي مهاراتها الحسابية على نحو مفاجئ. وفي إطار نطاق ممتد للتطور يكون من الصعب تحديد متى ينشأ نوع جديد، وهذا هو سبب استخدام التعريف البيولوجي العملي متى أمكن.

يخضع تكوين الأنواع الجديدة لعمليات تدفع في اتجاهات متعارضة، فالتدفق الجيني الناتج عن التكاثر يميل إلى الإبقاء على تشابه المجتمعات بعضها مع بعض؛ مما يثبط نشأة أنواع جديدة. تسجل المجتمعات انحرافًا وراثيًّا بسبب الانتخاب الطبيعي

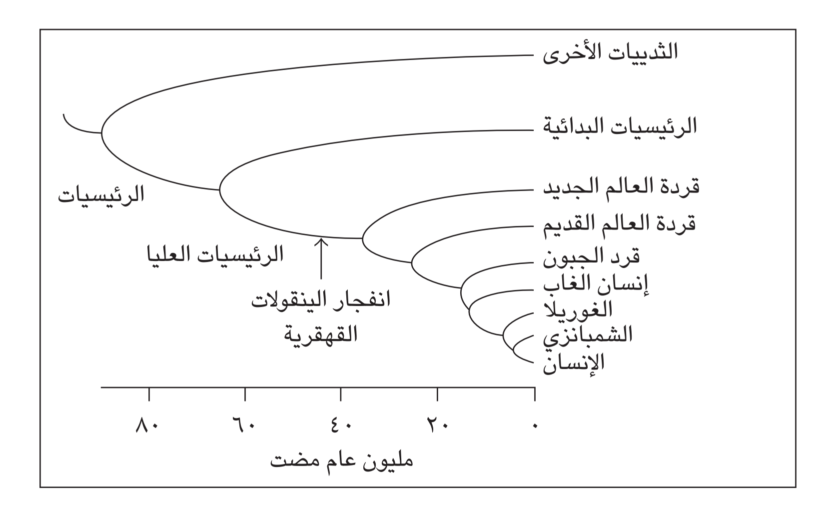
وبسبب التباينات العشوائية في معدل تكرار الأليلات، وخصوصًا في المجتمعات الصغيرة، وتلك عملية تُعرف بالجنوح الجيني. وآخر آليتين تجعلان من تشكُّل أنواع جديدة أمرًا محتملًا. وإن اعترض شيء ما التدفق الجيني لأي سبب من الأسباب فإن الجنوح الجيني يضمن نشأة أنواع جديدة.

العزل الجغرافي هو أوضح الطرق التي تعيق المجتمعات عن تبادل الجينات. لا يتطلب العزل وجود محيط أو سلاسل من الجبال الفاصلة؛ فقد يكون على صورة تباين في الموطن في منطقة مجاورة. حتى ١٥٠ عامًا مضت عاشت الأسود في الأرض العشبية المفتوحة في الهند وعاشت النمور في الغابات، لم يحدث تهجين بين النوعين في البرية. وحتى حين عاش النوعان في المكان نفسه بالضبط حالت أسباب أخرى دون حدوث التزاوج بينها. فكِّر فحسب في مشكلات الجنس؛ فالأزواج المحتملون ربما يتناسلون في أوقات مختلفة، أو ربما يلتقون لكن يستطيعون تبين آليات هذا الأمر، أو ربما يعجزون عن نقل الحيوان المنوي، أو يعجزون عن تخصيب البويضة. وحتى إن خصبت البويضة فقد يموت الجنين، أو يتمتع هجين الجيل الأول بكفاءة أقل، أو قد يكون عقيمًا. إن التفكير في ذلك الأمر مجهد، وهو ما قد يعد سببًا آخر وراء فشل الاتصال الجنسي.

كل هذه الأفكار محتملة فيما يتعلق بتطور أسلافنا الذين عاشوا منذ أزمان سحيقة. لقد ظهرت الثدييات على نحو بارز كنوع جديد بعد انقراض العصر الطباشيري الثلاثي منذ ٦٥ مليون عام، ويعتقد أنه منذ حوالي ٣٥ مليون عام انتقل بعض أوائل القردة الشبيهة بالإنسان فوق طوف من النباتات عبر المحيط الأطلنطي الأضيق آنذاك متجهة من أفريقيا إلى أمريكا الجنوبية. ومن ثمَّ انعزلت قردة العالم الجديد عن قردة العالم القديم من الناحية التكاثرية، واتبع كل منهما مسارات تطورية خاصة به بعد موجة من التطور (الشكل ٣-٣).

انفصلت سعادين العالم القديم عن القردة منذ حوالي ٢٥ مليون عام، لكن النوعين تعايشا جنبًا إلى جنب في بيئات الغابات الأفريقية نفسها. وفي خضم التنافس على الموارد عانت القردة ضعفًا في التنوع؛ إذ لم يكن باستطاعتها مواكبة السعادين ذات الضروس الحادة والقنوات الهضمية المتخصصة التي منحتها نطاقًا أوسع من النظام الغذائي، ففي المناخ البارد المتغير الذي ميَّز حقبة الميوسين من منتصفها وحتى آخرها؛ منذ حوالي ١٠ إلى ١٥ مليون عام، كانت القدرة على استغلال موارد غذائية جديدة ميزة قاطعة.

كان الحدث المحوري في تطور البشر هو انفصال سلالات أشباه الإنسان عن سلالات الشمبانزي منذ نحو ٧ ملايين عام، وهو ما كشفت عنه حفريات الجماجم. كانت الصدمة



شكل ٣-٣: شجرة تطور أسلافنا من الرئيسيات توضح موجة من التنوع منذ حوالي ٣٥ مليون عام، التي يستدل عليها من الينقولات القهقرية، وهي آلية يمكن للجينات من خلالها أن تضاعف نفسها بسرعة نسبية وتوجِد شكلًا جينيًّا جديدًا. وآخر علاقة تطورية تربطنا بالثدييات الأخرى ترجع إلى ما قبل حدث الانقراض الذي وقع في العصر الطباشيري الثلاثي. (Kazuhiko Ohshima, Tokyo Institute of Technology)

بالغة حين بَيَّنَ الباحثون عام ٢٠٠٦ أن سلالات الشمبانزي والبشر تشاركت في الجينات منذ فترة وجيزة لا تزيد عن ٥ أو ٦ ملايين عام.[٨] بعبارة أخرى، لقد تناسل البشر والشمبانزي لما يزيد عن المليون عام قبل أن يقع الانفصال الثاني والأخير. لم يكن أبناء العصر الفيكتوري ليوافقوا على ذلك، لكن من المؤكد أن التطور ليس المجال المناسب لمن يسهل إثارة غثيانهم. عادة ما تنقرض المجتمعات الهجينة لأن الذكور يعانون العقم، وأفضل تخمين لما حدث هو أن الإناث الهجينة تزاوجت مع ذكور الشمبانزي لإنتاج ذرية قادرة على الحياة وانبثقت السلالة البشرية من ذلك المجتمع الهجين.

عاش الشمبانزي على الفاكهة في الغابات المدارية لملايين الأعوام، وتطور إلى عدد من الأنواع كالغوريلا التي تتغذى على النباتات وأشباه الإنسان التي تحركت في الغابات الأكثر جفافًا والسهول التي امتدت بين الغابات. واصل البشر والشمبانزي الانحراف

بعضهم عن بعض انطلاقًا من نقطة التفرع التي وقعت منذ ٥ ملايين عام أو نحو ذلك. وبين حشائش السافانا المتناثرة طَوَّرَ البشر الحركة على طرفين لقطع مسافات أكبر، وهذا منحهم فرصة الوصول إلى أنواع أكثر من الغذاء، وسرعان ما انتشر البشر عبر قطاعات كبيرة من جنوب القارة الأفريقية.

منذ حوالي ٣ ملايين عام، بدأ المناخ يبرد ومرَّ بتقلبات جوية عنيفة انخفضت معها درجات الحرارة بمقدار ٤ إلى ٦ درجات مئوية (٨ إلى ١٠ درجات فهرنهايت) عن أي وقت آخر طيلة ملايين السنوات. تعرضت كل الأنواع للضغوط وبعضها انقرض. تكيف البشر عن طريق تطوير الأدوات والهجرة واللجوء إلى الصيد. طوَّر «الإنسان الماهر» مخًّا ضِعف حجم مثيله لدى أي قرد آخر، وحدد علماء الوراثة جينًا واحدًا ربما سهَّل هذه الزيادة.[٩] وبعد أن انتشر البشر بحثًا عن الغذاء، صاروا صيادين وطرائد في الوقت ذاته. هذا الافتراس أدى إلى تعاون اجتماعي استفاد من المخ الحديث الأكبر حجمًا على نحو صريح. وعلى النقيض، لم تساعد قردة الشمبانزي بعضها بعضًا، حتى إن لم تكن هناك تكلفة مترتبة على المساعدة. لقد زاد التطور الاجتماعي من الانفصال بين النوعين.

في التطور البشري الحديث، كانت هناك شواهد على العزل التكاثري؛ فقد انعزل سكان أستراليا الأصليين عن البشر الآخرين طيلة ٥٠ ألف عام، لكن حين سمحت لهم وسائل السفر الحديثة بمقابلة مجتمعات أخرى تناسلوا حسب ما نعلم اليوم من عدد كبير من السلالات المشتركة. ومع ذلك، لا يقف التطور ساكنًا، فثمة دليل على أن جينًا — يُطلق عليه اسم «ميكروسيفالين»[١٠] وينظم حجم المخ — قد انتشر تحت الضغط الانتخابي منذ وقت حديث يمتد إلى ٣٧ ألف عام مضت، وذلك قبل أن يبدأ البشر ارتقاءهم السريع على سلم الثقافة والحضارة مباشرة. هذا الاكتشاف يوضح المرونة المذهلة للمخ.

وفي إطار الصورة الكبيرة طغى التواضع على التغيرات الوراثية الجينية على مدار المائة والخمسين ألف عام الماضية. ولو جلبنا شخصًا من ذلك الوقت ثم أخذ حمامًا وحلق ذقنه وارتدى ملابسه ثم دُفع به إلى منزلك أو مكان عملك، فلن يبدو شكله مستغربًا. فقط لا تدخل معه في عراك على ركوب إحدى سيارات الأجرة.

(١-٥) نهاية الخط

إن كان النجاح يقاس بالأعداد، فعدد البشر البالغ ٦ مليارات شخص يبدو عددًا كبيرًا في الظاهر فحسب. فقريدس البحر الذي يعيش في القطب المتجمد الجنوبي يعد جزءًا جوهريًّا من النظام البيئي للمياه الباردة، ويتوفر منه حوالي ٥ × ١٠^١٤ كائن، ومع أن كل واحد من هذه الكائنات لا يزن سوى جرام واحد فإنها إن جُمعت معًا في كومة ستزن مليار طن؛ أي أكثر من وزن كل البشر. أنجح الأنواع هو أيضًا قاطن للمحيطات؛ البكتيريا التي يُطلق عليها اسم «إس إيه آر-١١». هذا الكائن الحي هو أيضًا مشارك رئيسي في النظام البيئي العالمي؛ إذ يعمل «كمضخة» تزيل ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. وهناك ٣ × ١٠^٢٩ خلية منتشرة من هذه الخلايا، أضف لهذه القيمة أو اطرح منها عددًا يسيرًا. ذلك يعني أنه يوجد ١٠٠ مليار مليار خلية منها مقابل كل فرد منا.

إن قيس النجاح في ضوء طول عمر الأنواع وتنوعها فالأبطال الحاليون هم النمل؛ إذ عاش النمل طيلة ١٠٠ مليون عام، ويمثله ٢٠ ألف نوع. وتاريخيًّا، نرفع القبعات إعجابًا لثلاثيات الفصوص التي ضمت ١٧ ألف نوع وتباينت في حجمها من المجهري إلى ما يزيد طوله عن قدم واحدة، وناضلت طيلة ٢٥٠ مليون عام من انفجار الكمبري إلى انقراض العصر البرمي. بل إن الأمونيتات، التي ضمت ١٠ آلاف نوع وتراوحت في حجمها من ملليمترات قليلة إلى ثلاثة أمتار أدت أداءً أفضل؛ إذ بقيت منذ ٤٠٠ مليون عام مضت حتى انقراض العصر الطباشيري الثلاثي. أما البشر فهم حديثو المولد؛ إذ لم يمر على وجودهم سوى مليون عام فقط.

شهدت الأرض نصف مليار نوع خلال ٤ مليارات عام، ولا تتجاوز نسبة من تبقى منها على قيد الحياة ٢٪. ويطلق على المعدل العام لفناء الأنواع اسم معدل الانقراض السابق لظهور البشر. يمكن أن تفنى الأنواع بسبب تغيرات في البيئة المادية أو البيولوجية، وثمة العديد من العوامل التي تساهم في هذا الأمر مثل حجم المجتمع والقدرة التكاثرية والصفات الجينية والتوزيع الجغرافي والعلاقات القائمة مع الأنواع الأخرى.[١١]

في المتوسط، تبقى أنواع الكائنات والنباتات وحيدة الخلية من ١٠ إلى ٣٠ مليون عام، في حين تبقى أنواع الحشرات عدة ملايين من الأعوام. أما أنواع الثدييات فمتوسط مدة بقائها هو مليون عام. تزايد التنوع الحيوي على نحو كبير منذ «الحدث» الذي شهده العصر البرمي منذ ٢٥٠ مليون عام، وهو ما يعني أن أنواعًا جديدة تظهر أكثر

من تلك التي تختفي. إن مهد التنوع الحيوي الحالي هو المناطق المدارية، والسبب في ذلك هو انخفاض معدل تبدل الكائنات في المناطق القريبة من خط الاستواء؛ فالأنواع تظهر بمعدل أقل في المناخ الدافئ، لكنها تختفي أيضًا بمعدل أقل، وهو ما يعني وجود عدد كبير منها في أي وقت بعينه. اكتشف الباحثون حديثًا أن كمية الطاقة المطلوبة لخلق نوع جديد كمية ثابتة.

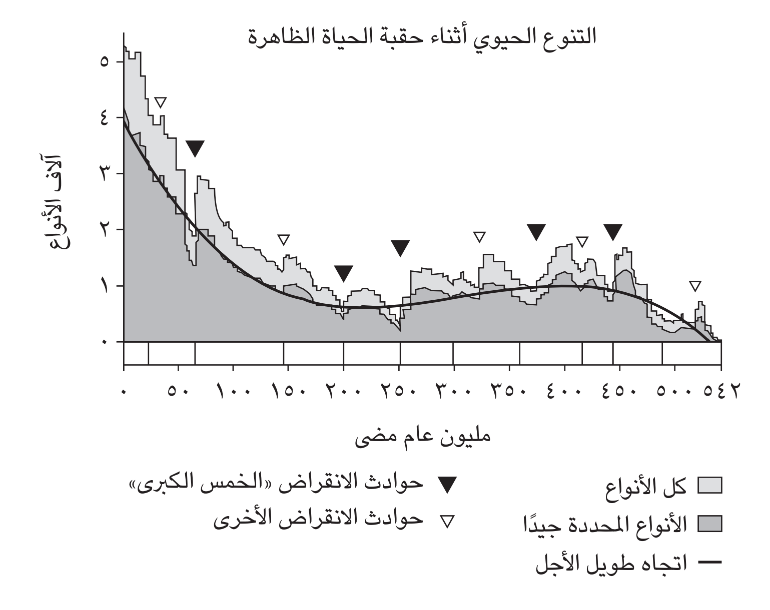
خلال الخمسمائة مليون عام الماضية، وهي الفترة التي لها سجل حفريات جيد بدرجة كافية لحساب عدد الأنواع وقياس التنوع الحيوي، قوطع معدل الانقراض المنخفض بثبات من قبل عمليات انقراض حادة مفاجئة سببتها الكوارث الطبيعية. ثمة خمسة أحداث انقراض «جماعي» — وقعت منذ ٤٣٥ و٣٧٠ و٢٥٠ و٢٠٥ و٦٥ مليون عام — بالإضافة إلى عدد مماثل من أحداث الانقراض الأكثر اعتدالًا. لقد فنت حوالي نسبة ٩٥٪ من جميع الأنواع البحرية والبرية في نهاية العصر الباليوزي (حقبة الحياة القديمة) منذ ٢٥٠ مليون عام مضت. وقعت معظم هذه الأحداث بسبب أنشطة بركانية عاتية بدَّلت المناخ والغلاف الجوي، ووقع بعضها بسبب حوادث اصطدام مذنبات بالأرض، وأبرزها حادث انقراض العصر الطباشيري الثلاثي الذي وقع منذ ٦٥ مليون عام (الشكل ٣-٤).

وفقًا لكل الأدلة نحن نمر حاليًّا بانقراض جماعي سادس أو «موت عظيم»؛ ففي سجل الحفريات وصلت الخسارة السابقة للأنواع إلى حوالي ٣٠ نوعًا سنويًّا، أما طبقًا لتقييم الألفية للنظم البيئية الذي أجرته الأمم المتحدة فقد زاد المعدل الحالي للانقراض بمقدار ١٠٠٠ مرة ليبلغ ٣٠ ألف نوع سنويًّا. لا يزال المعدل المستقبلي المتوقع وفق ما يسير عليه تدمير المواطن الطبيعية والاحترار العالمي أعلى بعشر مرات، وفي ضوء بعض التقديرات قد تكون نسبة ٣٠٪ من النباتات والحيوانات في جميع أنحاء العالم في طريقها للانقراض في غضون مائة عام، لكن على النقيض من كل أحداث الانقراض السابقة، هذا الانقراض يحمل بصماتنا في جميع جوانبه، وهو ما يثير التساؤل: إن تسببنا في كارثة بيئية، فهل سنبقى على قيد الحياة؟

(٢) أسوأ أعداء أنفسنا

(٢-١) التعامل مع مخلفاتنا

تخيل الأرض وهي معلقة في الفضاء، تتدلى كلؤلؤة باهتة في ظلمة الليل، ولا يزيد غلافها الجوي الرفيع في سمكه عن قشرة ثمرة التفاح. الآن ركز انتباهك على الكوكب واستمع



شكل ٣-٤: لم يشهد تطور التنوع الحيوي في النصف مليار عام الماضية ازديادًا قويًّا إلا منذ ١٠٠ أو ١٥٠ مليون عام، حين ضاهى التنوع على اليابسة نظيره في المحيطات. تعني «الأنواع المحددة جيدًا» المجموعات ذات التحديد الزمني الدقيق في سجل الحفريات. ويشهد الاتجاه السائد السلس مقاطعات من جانب حوادث الانقراض الجماعية الخمسة وعدد مشابه من أحداث الانقراض الصغرى. (Albert Mestre, Wikipedia GNU License and Creative Commons License)

إليه وهو يدور وضوء الفجر يمرق عبر سطحه. من شأن شروق الشمس عادةً أن يستحثَّ مجموعة من الأصوات وتطير العصافير عبر الضوء المنتشر بسرعة مئات الأميال في الساعة، لكن في هذا اليوم خيَّم الصمت فحسب على كل شيء.

إنها الصورة الذهنية التي استحضرها كتاب بارز من تأليف راشيل كارسون صدر عام ١٩٦٢ تحت عنوان «الربيع الصامت»، وقد ساعد هذا الكتاب في انطلاق الحركة البيئية. مسَّت دعوتها المدوية ضد الاستخدام غير المقيد للمبيدات وترًا حساسًا، لكنها أوجدت أيضًا رد فعل معاديًا مزعجًا؛ فقد حشدت شركات صناعة المواد الكيميائية

جهودها للسخرية منها وتكذيبها، وشرع روبرت وايت ستيفنز، المتحدث الرسمي لتلك الشركات، في التحدث بالنبرة نفسها قائلًا: «إن اتبع البشر تعاليم الآنسة كارسون فسنعود إلى «العصور المظلمة»، وسترث «الحشرات» و«الأمراض» و«الهوام» الأرض مجددًا.» لكن ثبتت صحة ادعاءاتها بالكامل على يد إحدى اللجان الاستشارية الرئاسية، وسرعان ما تبعها إقرار تشريع يشدد من الرقابة على المبيدات الكيميائية. وقد ترسَّخ إحساسنا بالأرض كنظام بيئي هش عام ١٩٦٨ حين أرسلت مركبة الفضاء «أبولو ٨» أول صورة لكوكبنا من بعد ٤٠٠ ألف كيلومتر.

حين كنا مجرد صيادين جامعين للطعام، وعددنا لا يتجاوز ١٠ ملايين شخص، كانت لنا بصمة خفيفة على الكوكب. لم نستهلك إلا ما كنا نحتاجه، ولم نخلِّف سوى مخلفات عضوية قابلة للتحلل، ولم نتسبب في تسريب سوى قدر ضئيل من الحرارة وثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي؛ اعتمدت حياتنا على قدرتنا على سماع نبضات الكوكب والانتباه إليها.

أما الآن فقد زاد عددنا عن ٦ مليارات شخص، وصرنا مهووسين بالنمو والتكنولوجيا، وكل واحد منا يتسبب في وجود قرابة طن متري من النفايات سنويًّا، يعاد استخدام أقل من ربعه. وفي الولايات المتحدة تشمل النفايات ٥٠ مليون جهاز كمبيوتر و١٠٠ مليون هاتف محمول و٣ مليارات بطارية سنويًّا. هذه المخلفات الإلكترونية المتزايدة في كمياتها سريعًا تحتوي على الرصاص والكادميوم والكروم والزئبق والبولي فينيل كلوريد، التي لها آثار سامة تسبب تلف المخ ومرض الكلى، إضافة إلى التغيرات الأحيائية وأمراض السرطان. ومع أن المخلفات التالية ليست سامة فإنها تشكِّل عبئًا على الكوكب، وهي تتمثل في ثلاثة ملايين وستمائة ألف طن متري من المراسلات البريدية، و٢٢ مليار زجاجة بلاستيكية، و٦٥ مليار عبوة مشروبات غازية يجري التخلص منها سنويًّا. الأمريكيون هم أبطال العالم في الإهدار؛ إذ يبلغ عددهم ٥٪ من سكان الأرض، لكنهم يتسببون في نسبة ٤٠٪ من النفايات.[١٢]

عندما نتخلص من نفاياتنا فإنها لا تتبدد تمامًا، ففي مدفن النفايات تجد بعض السموم طريقها إلى المياه الجوفية، وفي موقد إحراق القمامة تفر بعض السموم إلى الهواء. ومع أن وكالة حماية البيئة الأمريكية تتابع ١٣٠٠ موقع من أسوأ مواقع تجميع المخلفات السامة، فإن التمويل الضخم المخصص لعمليات التنظيف نفد منذ سنوات على الرغم من أن التشريع الأصلي يقضي بأن يتحمل الملوِّث النفقات. وفي مواقع المخلفات النووية البالغ

عددها ١٢٠ موقعًا والممتدة في أنحاء البلاد، تُعد مشكلة احتواء التلوث مشكلة ضخمة؛ فهناك ٢٤٥ مليون طن متري من نفايات المناجم المتخلفة عن استخلاص اليورانيوم، و٤٥ ألف طن متري من الوقود المستهلك عالي الإشعاعية الصادر من المفاعلات القائمة لخدمة أغراض دفاعية وتجارية، وأكثر من ٣٤٠ مليون لتر من النفايات عالية المستوى التي تخلفها معالجة البلوتونيوم. لم يكن جبل يوكا في نيفادا مستعدًّا قط للتعامل مع هذه الكمية من المخلفات.

ديفرا ديفيز عالمة متخصصة في الأوبئة، وقد عملت مستشارة لمنظمة الصحة العالمية ونصحت كل الرؤساء الأمريكيين منذ جيمي كارتر بشأن سياسة الصحة العامة، وقد لاقت نقدًا من ذوي المصالح الشخصية مثلما كان الحال مع راشيل كارسون من قبل، وذلك عندما أوضحت الطرق العديدة التي يتفوق بها دافع الربح على المصلحة العامة متى تعلق الأمر بمخاطر من الممكن تجنبها. كانت طفلة رضيعة حين تسللت سحب الضباب والدخان السام الصادر عن أحد مصانع صهر الزنك المحلية إلى بلدة دونورا في بنسلفانيا، لتسفر عن مقتل ٢٠ شخصًا وإصابة نصف سكان البلدة تقريبًا بالأمراض. حفز هذا الحادث على صدور قانون الهواء النظيف لعام ١٩٧٠.

توضح ديفرا ديفيز أننا نتجاهل عن طيب خاطر أو نستسلم لتطمينات زائفة بشأن الخصائص المسرطنة للمكونات التي تدخل في تصنيع المشروبات الغازية ومستحضرات التجميل والعقاقير التي تُصرف دون وصفة طبية. في الولايات المتحدة يتعرض رجل واحد من بين رجلين وسيدة واحدة من بين ثلاث سيدات للإصابة بالسرطان، وبهذا لا يعد السرطان قاتلًا فرديًّا وإنما قاتلًا جماعيًّا. وسيعتمد طول العمر، خصوصًا في الدول النامية، بصورة متزايدة على التمتع بالذكاء فيما يتعلق بالمخلفات. كل ما عليك هو أن تسأل رائدًا بإحدى مركبات الفضاء أبولو عما يحدث حين تتلوث بذلة الفضاء.

(٢-٢) عناق دافئ

يحتل التغير المناخي صدارة المشكلات التي نواجهها، فعلى مدار العقد الماضي صار جليًّا بما لا يدع مجالًا للشك أن النشاط البشري يتسبب في ارتفاع درجة حرارة الكوكب، والأسباب الرئيسية هي الإفراط في استخدام الوقود الحفري والتنمية الاقتصادية التي تؤدي إلى إزالة الغابات. حاز تقرير اللجنة الدولية المعنية بتغير المناخ الصادر عام ٢٠٠٧

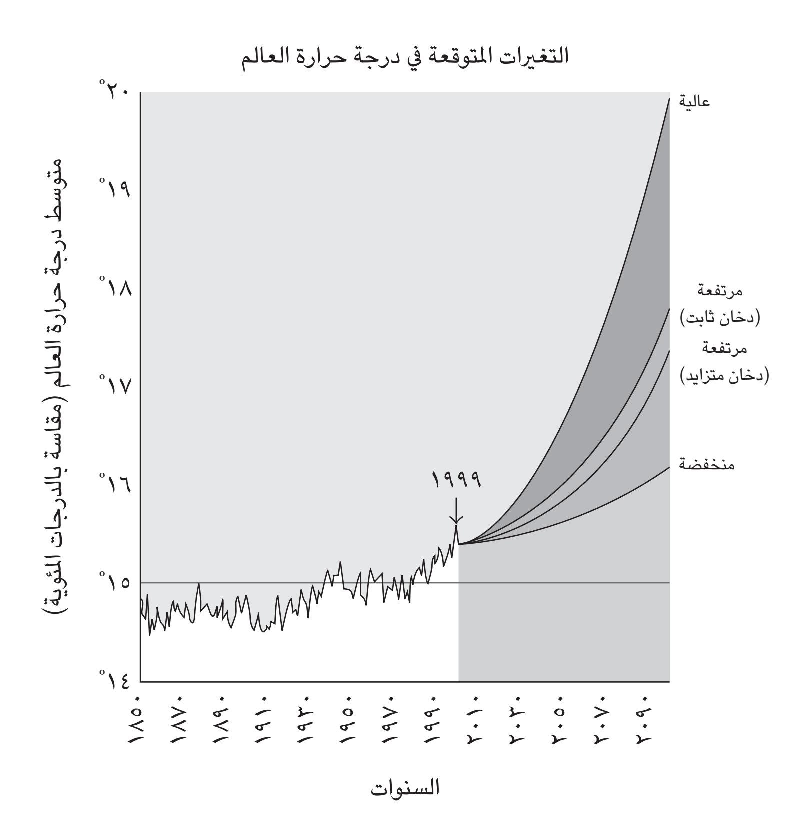
تصديق ٣٠ جمعية من الجمعيات العلمية المرموقة، والقلة القليلة الباقية التي ترفض ذلك تعجز عن الصمود في وجه الأدلة القوية والإجماع العلمي غير المسبوق.

إن كنت تجلس في غرفة معيشتك تقرأ كتابًا ثم دفعت مؤشر الحرارة برفق بمقدار ٠٫٧٥ درجة مئوية (١٫٤ فهرنهايت) — وهو متوسط درجة الاحترار العالمي على مدار القرن الماضي — ربما لن تلاحظ شيئًا. لماذا إذن سيذهب العالم إلى الجحيم بسبب هذا التأثير؟ ليست المشكلة في الاحترار العالمي حتى الآن، إنما في التأثير المتوقع. من الممكن أن يشهد هذا القرن زيادة في درجة الحرارة تتراوح من درجة مئوية أخرى (٢ فهرنهايت) إلى ٥ درجات مئوية (٩ فهرنهايت)، وينتج هذا التباين عن تعقد مسألة ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية وآليات التبريد (الشكل ٣-٥). إن المناخ أشبه بشاحنة نفط عملاقة؛ لا يمكننا أن تستدير في منعطف ضيق للغاية. وحتى لو عملنا على استقرار انبعاثات الغازات المسببة للاحترار العالمي غدًا، فسيستمر الاحترار العالمي على الأرجح لمدة قرون بسبب السعة الحرارية للمحيطات. ذلك يؤدي إلى التخوف من أن تكون التغيرات المناخية غير قابلة للعلاج وأننا قد تجاوزنا «نقطة اللاعودة».

قياسًا بحرب نووية، أو حتى الشتاء النووي الناجم عنها، يعد الاحترار العالمي مشكلةً خطيرةً، بيد أنه ليس أزمة حقيقية للأنواع. تسرد مجموعة العمل القائمة على إعداد التقرير الدولي المعني بتغير المناخ قائمة بالتأثيرات: ستزداد المناطق الرطبة رطوبة، وستزداد المناطق الجافة جفافًا، وسيزداد الطقس تطرفًا في كل مكان. سيصير الجفاف والفيضانات أكثر شيوعًا، وستتمدد العديد من النظم البيئية وصولًا إلى نقطة الانفجار. ومن المتوقع أن تسجل عملية إزالة الكربون من قبل النظم الحية أعلى معدلاتها في منتصف القرن ثم تنخفض؛ الأمر الذي سيزيد من التغير المناخي.

مبدئيًّا سيكون هناك فائزون وخاسرون. إن كنت تعيش في مدينة بانجور أو مينسك فلن تشكو حين يزداد الشتاء دفئًا بمقدار درجات قليلة، لكن من بين أوائل الخاسرين جراء الجفاف وفقد المحاصيل التقليدية تلك البلدان الفقيرة في أفريقيا وآسيا التي تعجز عن مجابهة معيقات النمو هذه. وبحلول عام ٢٠٥٠ يُتوقع أن تتعرض كل البلدان تقريبًا للآثار الضارة للاحترار العالمي.

لست أسعى هنا إلى أن أبدو محدود الأفق أو إلى التقليل من شأن تأثيرات الاحترار العالمي، لكن إليك بتأثيره على الأشياء التي ربما تكون قريبة ومحببة إلى قلبك. استعد لأن تفطم نفسك عن تناول سرطان البحر والسلمون؛ إذ ستصبح نادرة في المحيطات الدافئة.



شكل ٣-٥: أجرت اللجنة الدولية المعنية بتغير المناخ تقييمًا للاحترار العالمي، الحالي والمتوقع مستقبلًا، وهو يحوي عدة نماذج متنوعة تتنبأ بارتفاع في درجة الحرارة يتراوح من درجة واحدة مئوية (٢ فهرنهايت) إلى ٥ درجات مئوية (٩ فهرنهايت) بحلول عام ٢١٠٠. يرتبط نطاق التوقعات بدرجات تركيز الدخان في الطبقة العلوية من الغلاف الجوي ومدى تأثير ثاني أكسيد الكربون ودرجات تركيز الدخان على الاحتباس الحراري. (GRIDA/UNEP and the Intergovernmental Panel for Climate Change)

لن تشرب النبيذ الفرنسي أو النبيذ الأحمر مع تلك الوجبات؛ إذ ستنتقل ثمار العنب إلى مكان آخر، ستصير مضارب البيسبول التقليدية نادرة الوجود، وسيكون الحال كذلك مع أشجار الكريسماس، ستفقد جداول السمك الطائر ومنتجعات التزلق سبب جذبها

للزبائن. المكان الوحيد الذي سترى فيه الدببة القطبية وثعالب القطب الشمالي وحيوانات الكوالا هو حدائق الحيوانات.

على الجانب الآخر سيزيد الاحترار من قوة أشياء قد تضر بنا؛ فالهندباء البرية المزهرة ستدمر مروجك وتتسبب في التهاب شديد بالجلد، وستصاحبها زيادة في حشرات القرادة التي تتسبب في داء لايم وستفسد تنقلك في الغابات، ستغزو قناديل البحر بلسعاتها المؤلمة المزيد من الشواطئ، سيزداد العفن وعشب الرجيد في ظل توافر ذلك الكم الإضافي من ثاني أكسيد الكربون، وبالمثل سيزيد مرض الربو وأنواع الحساسية التي تثيرها البيئة. وقد رأينا بالفعل الكوليرا وهي تداهم أمريكا الجنوبية، والملاريا وهي تهاجم موسكو، وفيروس غرب النيل وهو يودي بحياة أشخاص في كندا. سيتواصل ظهور المرض وانتشاره مع اتساع نطاق حركة البعوض والفئران والقراد والجرذان وغيرها من النواقل.

(٢-٣) حريق في السماء

يتميز وجه تلك الساعة بالبساطة والنمطية، ولست بحاجة للنظر إلا إلى ربعها فقط؛ لأنه خلال الستين عامًا الماضية ظل العقربان أسيري هذه المنطقة. إنها «ساعة يوم القيامة» التي ظهرت في مجلة باسم «نشرة علماء الذرَّة»، وهي الصورة الرمزية للعصر النووي.

حين استنتج أينشتاين منذ قرن مضى معادلته التي تضاهيه شهرة — الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء — أدرك أنها أطلقت العنان لاحتمالات مروعة، وأيضًا لفرص مذهلة، فالأسلحة النووية تطلق الطاقة بقوة تزيد بملايين المرات عن الطاقة الكيميائية المسببة لكل أنواع الانفجارات الأخرى. وفي خضم الحرب الباردة، وبعد تصاعد جهود الاتحاد السوفييتي والولايات المتحدة لتطوير الأسلحة بدءًا من القنبلة الذرية الانشطارية إلى القنبلة الهيدروجينة الاندماجية، تحرك عقرب ساعة يوم القيامة للأمام ليسجل الساعة الثانية عشرة إلا دقيقتين؛ أي قيد شعرة من المحرقة النووية. هدأت أجواء التوتر بتوقيع معاهدة الحظر الجزئي للتجارب النووية عام ١٩٦٣، ومعاهدة الحد من الصواريخ الباليستية عام ١٩٧٢، لكن بحلول عام ١٩٨٤ توقف الزمن عند الثانية عشرة إلا ثلاث دقائق، فقد توقف الحوار بين القوتين العظميين وكدست الاثنتان عددًا مذهلًا من الأسلحة النووية بلغ ٧٠ ألف سلاح.

منذ نهاية الحرب الباردة كان تهديد الدمار النووي العالمي بعيدًا عن أذهان الناس. عادت عقارب ساعة يوم القيامة إلى الوراء لتسجل الثانية عشرة إلا ١٧ دقيقة عام ١٩٩١ مع سقوط سور برلين والتقليص الشديد لترسانات الأسلحة الاستراتيجية لكلا الخصمين الأيديولوجيين، لكن عقرب الساعة اقترب أكثر من منتصف الليل في العقد الماضي مجددًا، وفي عام ٢٠٠٧ تحرك عقرب الساعة حتى بات على بعد خمس دقائق من منتصف الليل الرمزي المجازي. لماذا؟

يرجع ذلك في جزء منه إلى تجسيد الساعة لتهديدات أخرى تحيق بالإنسانية؛ كالاحترار العالمي والأسلحة البيولوجية، لكن كانت هناك عوامل أخرى؛ أحدها ازدياد أعضاء النادي النووي إلى ١٠ دول، مع احتمالات الزيادة مستقبلًا إلى ١٥ أو ٢٠ دولة، ومعظمها بلدان غير ديمقراطية. ثمة تخوف بشأن وجود نفايات تصل إلى ١٥٠٠ طن متري من اليورانيوم عالي التخصيب، و٥٠٠ طن متري من البلوتونيوم الموجودة في مواقع مدنية غير محمية، لكن العامل الأهم كان الإدراك بأن محادثات خفض الأسلحة قد توقفت، وأن الترسانة المتواضعة للصين تواصل النمو، وأن الولايات المتحدة وروسيا لا تزالان تملكان ٢٦ ألف سلاح نووي، منها ألفَا سلاح موجه بالفعل نحو أهداف ويمكن تهيئتها للعمل وإطلاقها في دقائق.[١٣]

تحريك ساعة يوم القيامة لا يحدث بسهولة؛ إذ يتشاور مجلس إدارة مجلة «نشرة علماء الذرَّة» مع مجموعة استشارية تضم مجموعة من صناع السياسات البارزين و١٨ من الفائزين بجائزة نوبل. تحدث ستيفن هوكينج، أحد رعاة مجلس الإدارة، في بيان صحفي نشر عام ٢٠٠٧ قائلًا: «كمواطنين في هذا العالم، علينا واجب تنبيه العامة للمخاطر غير الضرورية التي نعيش معها كل يوم، والأخطار التي نتنبأ بوقوعها إن لم تتخذ الحكومات والمجتمعات الآن التدابير الهادفة للخلاص من الأسلحة النووية.» ومع أن المخزون الاحتياطي الأمريكي قلَّ عن أعلى مستوى تاريخي وصل إليه مقدار عشر مرات، فإنه لا يزال يعادل ١٤٠ ألف قنبلة هيروشيما، أو ١٫٨ تريليون كيلوجرام من مادة التي إن تي.

من الصعب قياس خسائر الأرواح التي ستنجم عن حرب نووية واسعة النطاق، لكنها ستكون عشرات أو ربما مئات الملايين من البشر. قد تستطيع الإنسانية البقاء على قيد الحياة بعد القنابل والإشعاع الذي تخلفه، لكن الفوضى وانعدام الاستقرار الناتجَين عنها قد يدفعان الحضارة إلى النهاية. وحتى لو رأينا أن وقوع حرب نووية واسعة أمر

غير محتمل بقوة فقد يكون للعدد المتزايد من الصراعات الإقليمية المحدودة، والمحتمل وقوعها على نحو كبير، آثار مدمرة بسبب الظاهرة المسماة بالشتاء النووي.

يصف الشتاء النووي الآثار المناخية للحرب النووية، حين تتسبب الحرائق التي سببتها الأسلحة في ترسيب كميات هائلة من الدخان والسخام في الطبقة العلوية من الغلاف الجوي، حيث تسبب برودة شديدة طويلة الأمد، وتصيب البعيدين عن المناطق المستهدفة بالمجاعة. هذا المفهوم وجد طريقه إلى الوعي العام في بداية ثمانينيات القرن العشرين بفضل كارل ساجان وتصريحاته العامة فيما يتعلق ببحث شارك في وضعه عن هذا الموضوع. وفي مقابلة أجريت عام ٢٠٠٠، قال ميخائيل جورباتشوف: «لقد أظهرت النماذج التي طورها العلماء الروس والأمريكان أن اندلاع حرب نووية سيؤدي إلى شتاء نووي سيكون مدمرًا للحياة على كوكب الأرض إلى حدٍّ بعيد، ومعرفة هذا كانت حافزًا رائعًا لنا — نحن أهل الشرف والأخلاق — كي نتخذ إجراءً حيال ذلك الوضع.»[١٤]

كانت الأبحاث الأولى المتعلقة بالشتاء النووي مثيرة للجدل، وفي بعض الجوانب كانت التأثيرات المتوقعة مبالغًا فيها بسبب قصور المحاكاة الحاسوبية في تلك الأيام، أما الأبحاث التي جرت حديثًا فتعيد تمثيل التهديد بطريقة متزنة؛ فقد توصلت إحدى الدراسات التي قُدمت في الاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي عام ٢٠٠٦ إلى أن نزاعًا نوويًّا إقليميًّا صغيرًا يمكن أن يسفر عن عدد من القتلى يساوي ضحايا الحرب العالمية الثانية، وإطلاق قدر من السخام في الغلاف الجوي يكفي لخفض الحرارة بمناطق زراعة الحبوب في العالم بمقدار عدة درجات؛ بما يخلِّف أثرًا «مدمرًا» على الإنتاج الغذائي. وعام ٢٠٠٨ نشرت مجلة «بروسيدنجز أوف ذي ناشيونال أكاديمي أوف ساينسز» دراسةً أخرى قدمت سيناريو مماثلًا، وتوصلت إلى أثر إضافي تمثَّل في فقد نسبة ٥٠٪ من غطاء الأوزون في المناطق الشمالية.

افترضت كلتا الدراستين أن البلدين المتناحرين هما من بلدان الجنوب، ويملك الواحد منهما ٥٠ رأسًا نوويًّا. لم يُشِر إلى البلدين بالاسم، لكن تشير التقديرات إلى امتلاك كل من الهند وباكستان ما يقدَّر بنحو ٧٠ إلى ٨٠ رأسًا نوويًّا، وقد دخلت الدولتان في ثلاثة نزاعات كبرى على مدار الأعوام الستين الماضية. بالنظر إلى الصورة الأكبر يمكننا أن نأمل في أن يخرج الجنس البشري من مرحلة المراهقة المحفوفة بالمشكلات التي قد نندفع فيها إلى تدمير أنفسنا، وأن ندرك المخاطر المحيقة بنا، وتحديدًا الخطر النووي.

(٢-٤) إرهاب بيولوجي

يرجع الإرهاب البيولوجي إلى العصر الروماني، حين كانت الحيوانات الميتة أو المتعفنة تُلقى في الآبار لتسميم إمدادات المياه. وفي العصور الوسطى، وصل الأمر ببعض الجيوش إلى حد استخدام وباء الطاعون الدبلي لمحاصرة المدن، لكن كثيرًا ما كان المعتدون يفقدون السيطرة على أسلحتهم. وقد استُخدم غاز الخردل من الجانبين في الحرب العالمية الأولى، وحفز الغضب من استخدامه صدور بروتوكول جنيف لعام ١٩٢٥. وقع عدد كبير من البلدان وصل إلى ١٨٥ دولة اتفاقية تالية باسم «اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية»، لكن قد يتخوف البعض من البلدان التي لم توقع عليها مثل أنجولا ومصر والعراق وكوريا الشمالية والصومال وسوريا. استخدم الأسلحة البيولوجية عدد هائل من البلدان أثناء الحروب وضد مواطنيها أحيانًا. ويُخزن حوالي ٤٠ ألف طن متري من الأسلحة الكيميائية في مئات المواقع الآمنة، وشبه الآمنة، في العالم.

في نظر العامة، يرتبط الإرهاب البيولوجي بالحادثتين الوحيدتين اللتين مات فيهما مدنيون على أيدي مدنيين. ففي عام ١٩٩٥، أطلقت جماعة إرهابية يطلق عليها اسم أوم شنريكيو غاز السارين السام في محطة قطارات طوكيو للأنفاق؛ مما أدى إلى وفاة ١٢ شخصًا وإصابة أكثر من ٥ آلاف شخص. وفي عام ٢٠٠١، أُرسلت خطابات تحتوي على جراثيم الجمرة الخبيثة إلى أماكن مستهدفة في واشنطن العاصمة لتؤدي إلى مقتل ٥ أشخاص وإصابة ١٧ شخصًا آخر. هذه الخطابات المحتوية على الجمرة الخبيثة كانت مرسلة على ما يبدو من عالم متخصص في الأبحاث الحكومية في مجال الدفاع ضد الأسلحة البيولوجية يدعى بروس إيفنز، الذي انتحر على خلفية هذا الاتهام.

الأسلحة البيولوجية لها ثلاث فئات: غازات الأعصاب، كغاز السارين، وهي تركيبات صناعية تهاجم الجهاز العصبي عن طريق إعاقة آلية تكسير النواقل العصبية التي تسبب استرخاء العضلات. يمكن أن تسبب غازات الأعصاب تلفًا للجهاز العصبي والوفاة، لكنها ليست معدية. تشمل العناصر البيولوجية أشياء متنوعة كالبريونات والفطريات والطفيليات لكن النوعين الشائعين هما الفيروسات؛ كالمسببة للحمى الصفراء وحمى الضنك وحمى إيبولا والجدري، والبكتيريا؛ كالمسببة لمرض الجمرة الخبيثة والطاعون والكوليرا والتسمم الغذائي. ويُحكَم على فعالية السلاح البيولوجي من قوة فتكه وطريقة انتقاله، وتعد العناصر التي يمكن أن تنتشر عن طريق الملامسة أو عن طريق الهواء

الأكثر إثارة للقلق؛ خصوصًا إن كان لها فترة كمون تمتد لأيام، وفي هذه الحالة سينتقل المرض لآخرين قبل أن يمكن التعرف عليه.

وسائل الدفاع التي نمتلكها تجاه هذه الكائنات المسببة للمرض قليلة. فمسببات الحمى النزفية الفيروسية كالإيبولا وماربورج مهلكة بنسبة تتراوح من ٣٠ إلى ٨٠٪، وما من علاج فعال لها. هناك لقاحات معدة من أجل الجمرة الخبيثة والتسمم الغذائي والطاعون والعوامل البكتيرية الأخرى، لكنها ليست متاحة للعامة، ولا يمكن إرسالها بكميات كافية للمكان الذي تمت مهاجمته. إن شبح الإرهاب البيولوجي يرتكز على العوامل المعدلة وراثيًّا، التي لا تتوافر لقاحات لعلاجها.

لإدراك حجم المشكلة، دعنا نلقِ نظرة سريعة على برنامج الأسلحة البيولوجية السوفييتي. استخدم السوفييت عاملًا بكتيريًّا يسمى التولارمية أثناء معركة ستالينجراد التي شنوها عام ١٩٤٤ ضد القوات الألمانية؛ مما أسفر عن إصابة أكثر من ١٠٠ ألف شخص. واصل السوفييت تطوير الأسلحة البيولوجية وإنتاجها على نطاق واسع حتى بعد توقيع اتفاقية حظر الأسلحة البيولوجية عام ١٩٧٢. أيضًا تسربت جراثيم الجمرة الخبيثة بالخطأ قرب مدينة سفيردلوفسك عام ١٩٧٩؛ فأسفرت عن مقتل ١٠٠ شخص على الأقل، لكن لا يعلم أحد الحصيلة النهائية الدقيقة للموتى؛ لأن المخابرات السوفييتية دمرت جميع الأدلة والسجلات. وبحلول ثمانينيات القرن العشرين أنشأ السوفييت وكالة «بيوبارات» التي ضمت شبكة واسعة من المختبرات السرية بلغ عددها ٢٠ مختبرًا، ركز كل واحد منها على عامل قتل مختلف؛ يعمل بها ٣٠ ألف موظف من بينهم آلاف العلماء الحاصلين على الدكتوراه. تضاءل الاهتمام مع سقوط الاتحاد السوفييتي، لكنه لا يزال جوهريًّا. والحكومات الغربية ليس لديها أي فكرة عما يدور في تلك المختبرات التي لا تزال سرية.

ما لدينا من معلومات قليلة مقلق بما يكفي، فطيلة ٢٠ عامًا كان سيرجي بوبوف واحدًا من كبار العلماء في إحدى المنشآت البحثية في سيبيريا، التي عملت على الكائنات الممرضة المعدلة جينيًّا. وفي مختبر بروجيكت بونفاير ساعد بوبوف في تخليق بكتيريا طاعونية مقاوِمة لعدد من المضادات الحيوية المختلفة بلغ عددها ١٠ مضادات، وعدَّل من خصائص الجمرة الخبيثة لكي تقاوم «جميع» اللقاحات. وفي برنامج هانتر المفزع للغاية جرى جمع الجينومات الكاملة للفيروسات من أجل إنتاج فيروسات مهجنة غير قابلة للعلاج. وحين أُجريت مقابلة مع سيرجي بوبوف في حلقة خاصة من البرنامج

التليفزيوني «نوفا» عام ٢٠٠١ قال: «تخيل عاملًا بكتيريًّا يكمن فيروس داخل خلاياه. يبقى الفيروس ساكنًا حتى تُعالج الخلايا البكتيرية. ومن ثم، إن جرى التعرف على المرض البكتيري وعولج بأحد المضادات الحيوية يتحرر الفيروس. عندئذ، وبعد علاج المرض البكتيري الأوَّلي تمامًا، قد يحدث تفشي لمرض فيروسي. قد يكون التهاب المخ والنخاع أو الجدري أو الإيبولا. كانت تلك الفيروسات مدرجة في قائمة العوامل المحتملة.»

ثمة مثال آخر مفزع على نحو مماثل؛ أدخل بوبوف والباحثون العاملون معه الحمض النووي لأحد الثدييات في إحدى الجراثيم المسئولة عن شكل من الالتهاب الرئوي المسبب لعدد منخفض من الوفيات. أنتج الحمض النووي أجزاءً من بروتين يُعرف باسم ميالين، وهو الطبقة الدبقية العازلة كهربائيًّا التي تعمل كغلاف لخلايانا العصبية. في حيوانات الاختبار ظهر مرض الالتهاب الرئوي ثم زال، لكن أجزاء مادة الميالين، التي حملتها البكتيريا المعاد توحيدها، حثت الجهاز المناعي للحيوانات على قراءة مادة الميالين الطبيعية الموجودة بها على أنها كائن ممرض يهاجمه. النتيجة كانت تلف المخ والشلل والوفاة بنسبة ١٠٠٪. أيضًا صنع بوبوف سلاحًا بيولوجيًّا حفز مرض تصلب الأنسجة المتعدد السريع.[١٥] ويدَّعي بوبوف أن هذا العامل لم يستخدم كسلاح بكميات كبيرة، لكن المعرفة المطلوبة لتحقيق ذلك متاحة بسهولة.

حتى إن كنا لا نثق في نوايا الروس، تبدو احتمالية أن تكون الإنسانية في خطر مستبعدة، لكن التطورات التي شهدتها الهندسة الوراثية جذابة؛ فما أُنجز في الماضي على يد الروس بجهد كبير وتكلفة هائلة يمكن الآن تحقيقه بواسطة آلة تسلسل جيني تُشترى مستعملة من موقع إيباي مع الاستعانة بمادة بيولوجية غير خاضعة لأي ضوابط تصل في طرد مرسل عبر شركة فيديكس.

في عام ٢٠٠٨ دقت إحدى لجان الكونجرس المشتركة والمعنية بالوقاية من انتشار أسلحة الدمار الشامل والإرهاب ناقوس الخطر مشيرة إلى أن «حد سلامتنا يتضاءل، لا يزداد، وأن التهديد البيولوجي أكبر من التهديد النووي، وأن حيازة كائنات ممرضة مميتة واستخدامها كأسلحة بيولوجية ونشرها في الهواء ينطوي على عقبات فنية أقل من سرقة أو إنتاج يورانيوم أو بلوتونيوم خام ملائم للأسلحة وتجميعه في قنبلة نووية مرتجلة».[١٦] لم تعد قدرة إحدى الجماعات الخبيثة على بناء كائن ممرض مثالي وإطلاق العنان له في العالم بالسيناريو الخيالي المفزع. ولحسن الحظ يمكننا استخدام أدوات الهندسة الوراثية نفسها لحماية أنفسنا.

حتى لو وضعنا نهاية للتهديدات التي من صنع الإنسان، فالتطور لا يقف ساكنًا، وقد نتعثر في طريقنا بسبب شيء لا نوليه اهتمامنا. في افتتاحية هذا الفصل قابلنا بروتينًا صغيرًا مشوهًا يظهر بصورة طبيعية ولديه القدرة على إحداث التآكل في نسيج المخ وإقحام الضحية في حالة متدهورة من الارتجاف والجنون. يحقق هذا البروتين ذلك عن طريق حث البروتينات الطبيعية في الكائن المضيف على اتخاذ وضع الخلل الوظيفي. ويجب أن نكون شاكرين لانحصار احتمالات الإصابة بهذا المرض في شخص واحد من بين كل مليون شخص؛ لأن استراتيجية البريون فعالة ونمط انتشارها مهلك، فنحن نقاتل شيئًا لا يتصف حتى بأنه حي طبقًا لتعريف علم الأحياء؛ فجزيئات البريون لن يكون لها وجود لو حدث أن قتلت كل مضيفيها، لكنها ببساطة لا تأبه بهذا.

لقد أوجد الإرهاب البيولوجي والمحرقة النووية أنماطًا فرعية من فكر النهاية المشئومة. وإن كنت تبحث عن تعويض يخفف عليك وطأة ما سبق، فتدبر جميع سيناريوهات «نهاية العالم» التي تملأ وسائل الإعلام الجماهيرية طوال الوقت. أحدث هذه السيناريوهات يلمح إلى أن الأرض ستشوى بفعل الانفجارات الشمسية، أو سيصطدم بها كوكب يدعى نيبيرو عام ٢٠١٢. ما من مصداقية علمية لهذا التهديد، القائم على القراءة الخاطئة لأساطير شعب المايا. وبدءًا من الخوف من عودة مذنب هالي عام ١٩١٠ وحتى تحريف كلمات نوستراداموس في مشكلة عام ٢٠٠٠، اشتركت هذه الادعاءات في شيء واحد: أنها خاطئة تمامًا. لذا، أقدِّم هذا العرض علنًا لأي شخص أو مجموعة تزعم معرفتها بنهاية العالم: إنني أراهن بكل ما أملك مقابل كل ما يملك على أنه مخطئ. إنه رهان مثالي؛ فإن لم تأتِ نهاية العالم سأكون أكثر ثراءً، وإن أتت فلن يهم من الفائز.

الفصل الرابع

ما وراء الانتخاب الطبيعي

توقفت مخلوقات السكويبون عن حديثها، وراقبت بتأمل من بين قمم الأشجار عددًا من قوارض الشاجرات تمر أسفلها، وهي تتشمم الأرض بأنوفها. كانت القوارض الضخمة أعداءً شرسة ذات عضات سامة، لكن لا قِبل لها بجماعة مسلحة جيدًا من السكويبون. كان الهواء يمتلئ بأصوات عالية تصدرها الخنافس الطنانة التي تطوف بحثًا عن الطعام. مر توراتون بحافة الغابة باحثًا عن ثمار جديدة يأكلها، وكان وقع أقدامه يهز الأشجار ورأسه مرئي من فوق كل الأشجار عدا تلك الأعلى قممًا.

أهلًا بك في أرض المستقبل بعد ٢٠٠ مليون عام، حين تتسبب التقلبات المناخية والتطور في وجود فيالق من فائزين وخاسرين جدد. يخرج علينا الجيولوجي البريطاني دوجال ديكسون بهذه الصورة الخيالية لنظام عالمي لا وجود فيه للبشر. أما أرقى الكائنات تطورًا فهو هجين من الحبار الذي عاد إلى الأرض وإحدى سلالات القردة الصغيرة.

بالإضافة إلى الخنافس الطائرة التي تماثل قبضة اليد في حجمها والزواحف التي تماثل المنزل في حجمها، يتخيل ديكسون عالمًا يسكنه «أشباح المحيط»؛ قناديل بحر تماثل الشاحنات حجمًا، و«قناديل المستنقعات» التي تبرز من المستنقعات لكي تتغذى، و«الحبار الهائل»؛ حبار يزن عدة أطنان يعيش على اليابسة. ليست كل الكائنات ضخمة؛ إذ يمثل «فليش» مسارًا ناجحًا للتطور من السمك إلى الطيور.

يتخذ بيتر وارد، الجيولوجي بجامعة واشنطن، منهجًا أكثر واقعية تجاه علم الأحياء التنبئي؛ إذ يعتمد في تنبؤاته على الضغوط الحالية. إنه يعتقد أن الاحترار العالمي وفقد الأراضي العشبية سيسببان نهاية الثدييات الكبيرة كالأسود والنمور

والدببة، أما الفائزون فهم الكائنات المندرجة في الفئة المعروفة باسم «التصنيفات الإضافية» التي تتنوع بسرعة ولها معدل انقراض منخفض نسبيًّا. سيحابي الضغط البيئي الثعابين والصراصير والطيور الطوافة، بالإضافة إلى الجرذان العملاقة؛ وفي هذا يتفق بيتر وارد مع ديكسون والعديد من علماء الأحياء التطورية.

هذه الأنواع الناجحة يدفع بعضها بعضًا إلى درجة أكبر من التنوع؛ فالثعابين تأكل القوارض لذا ستستجيب لأي قدرة جديدة أو تقدم يحدث للقوارض. يبدي وارد تفاؤلًا أكبر بشأن مستقبل البشر مقارنةً بديكسون، لكنه يقر بأن عملية التنبؤ ليست سهلة على الإطلاق. إنه يعتقد أن الجبروت الحالي الذي نتصف به، والذي نعبث به مع التطور، يمكن أن يكون له عواقب سيئة وغير مقصودة.

* * *

(١) نهايات التطور

(١-١) القادمون والذاهبون

الوقت مبكر جدًّا لأن نحدد هل الإنسان؛ ذلك القرد عديم الشعر ذو الألعاب الخطيرة، سيقصي نفسه من تجميعة الجينات. نأمل ألا يحدث ذلك، وإلا سنصير حينئذ جزءًا من الطبيعة، لا كائنات مميزة منفصلة عن الطبيعة. لا يزال نوعنا في مقتبل الحياة؛ إذ نبلغ من العمر ٢٠٠ ألف عام فقط. وقد عاش أسلافنا القدامى من سلالة «الإنسان المنتصب» لمدة ١٫٥ مليون عام. وبالتغاضي عن القصة التحذيرية لأبناء عمومتنا من سلالة إنسان نياندرتال، الذين انقرضوا بعد ١٠٠ ألف عام على وجودهم، نود أن نعتقد أننا لا نزال في نقطة البداية وحسب.

إن الطفرات والبيئة المتغيرة هما العاملان المحركان للتطور، لكن الأنواع الأكثر نجاحًا لديها قدرة رائعة على الصمود؛ فأسماك القرش والتماسيح ثابرت لعشرات الملايين من السنوات ولم تمر إلا بعدد قليل من التغيرات؛ لأنها تتمتع بقدرة رائعة على التكيف. بل سجلت بعض الكائنات الحية الأبسط أداءً أفضل؛ فالبكتيريا اللاهوائية كانت موجودة بوفرة في السنوات الأولى لكوكب الأرض، ولا تزال موجودة في البيئة المعاصرة. عاشت مستعمرات البكتيريا التي يطلق عليها اسم الرقائق الكلسية الطحلبية في النظم البيئية الساحلية ذات الشعب المرجانية طوال ٣٫٥ مليارات عام. ليس بالضرورة أن

يكون التكيف مثاليًّا؛ إذ يجب أن يكون جيدًا بدرجة كافية. خير مثال على ذلك العين لدى الفقاريات ذات الشبكية المقلوبة والبقعة العمياء. إن الحياة محفوفة بالمخاطر، وإن شبهناها بإحدى ألعاب الورق فسنجد أن بعض الأنواع جمعت بعض الأوراق الجيدة وتجلس في صبر انتظارًا للخطوة التالية.

الأنواع تأتي وتذهب، وليس تتبعها بالأمر التافه. لقد جرى تحديد حوالي مليوني نوع وتصنيفها إلى فئات، وعلى أفضل التقديرات ما هذا إلا أقل من ١٠٪ من الإجمالي. يعد معدل الانقراض السريع الحالي مشكلةً إضافيةً؛ فحسبما ذكرت البيولوجية دافني فاوتين، عضو الفريق الدولي المسئول عن جمع قوائم بالأنواع الجديدة: «بينما نجد العديد من الأنواع الجديدة، يختفي عدد أكبر من الأنواع بأسرع مما يمكننا اكتشافه. العديد من الأنواع انقرضت تمامًا ولن نعرف أبدًا أنها كانت موجودة.»

إن أكثر من نصف الأنواع المعروفة حشرات، بما في ذلك ٣٥٠ ألف نوع من الخنافس. حين سئل عالم الوراثة البريطاني، جي بي إس هالدين، عما استنتجه من دراسته للطبيعة عن الخالق كانت إجابته: «إن كان موجودًا فهو مغرم بشدة بالخنافس.» ويشهد علم الحفريات الأكاديمي خلافًا بين من يصنفون الكائنات الحية إلى فئات عديدة أو قليلة، إضافة إلى من يعتقدون أن التطور يتقدم في دفعات مفاجئة، ومن يرون أنه يتسم بوتيرة سلسة انسيابية.

من المرجح أننا اكتشفنا معظم الثدييات والطيور، لكننا لا نلم إلا بالقليل من المعلومات عن المجموعات الأخرى كالديدان الأسطوانية. وحين يتعلق الأمر بالأنواع الصغيرة للغاية يمكن القول إننا لا نزال في بداية الطريق. في إحدى الدراسات عُثر على ١٠ آلاف نوع بكتيري في جرام واحد من التربة بولاية مينسوتا، وهو ما يقارب ربع كل ما جرى استنباته أو تصنيفه من أنواع، وذلك تفنيد مثالي لرأي من يدعون أنه ليس هناك الكثير من الحياة في مينسوتا؛ المسماة بـ «أرض العشرة آلاف بحيرة».

يرجع تعقيد مهمة تصنيف التنوع الحيوي إلى ارتباط جزء كبير منها بالأماكن النائية أو الغريبة؛ فنسبة ٧٠٪ من الأنواع المعروفة تعيش في ١٢ دولة: أستراليا والبرازيل والصين وكولومبيا والإكوادور والهند وإندونيسيا والمكسيك ومدغشقر وبيرو وزائير وكوستاريكا. إنه ليس بعمل سهل لعلماء الطبيعة. لقد أرسل العالم كارل لينيوس، رائد علم التصنيف الذي عاش في القرن الثامن عشر، العديد من طلابه من السويد مزودًا إياهم بتعليمات للبحث بحماس عن أنواع جديدة. مات ثلثهم أثناء رحلاتهم، لكن تمثلت المكافأة في استخدام نظامه في تسمية أي كائن جديد.

ما المشكلة في تحديد اسم؟ أيًّا كان الاسم الذي نطلقه على الوردة فهي ستبعث برائحة عذبة. إن حدث أن اكتشفت حيوانًا أو نباتًا أو معدنًا فقد جرت العادة على أن تحصل على ميزة تسميته. عادةً ما يتم هذا الأمر بحصافة وعلى نحو لائق، لكن قد لا يكون الحال هكذا دومًا.

استهل لينيوس التدني في مستوى التسمية حين سمى أحد الأعشاب القبيحة باسم أحد نقاده. كتب ريتشارد فورتي، أحد كبار علماء الحفريات في متحف التاريخ الطبيعي في نيويورك، يحكي عن زميل له أنه كان يكره الشيوعيين، ولذا أطلق على دودة كان قد اكتشفها اسم «خروشوفيا ريديكيولا»، لكنه كان يحب البغاء، لذا أطلق على اثنين من ثلاثيات الفصوص اسم «سيد فيشيوسي» و«جوني روتيني». وأطلق كوينتين ويلر على الخنافس التي تأكل الفطر المخاطي اسم جورج دابليو بوش وأعضاء مجلسه الوزاري، لكنه أقسم أنه كان جمهوريًّا طيلة حياته، وأن هذا الفعل كان على سبيل المجاملة. لكن كان الاسكتلندي جي دابليو كيركالدي أكثر رومانسية؛ إذ أطلق على مجموعة من الجراثيم اللاحقة اليونانية نفسها، بحيث أصبحت تبدو كقائمة لغرامياته على النحو التالي: فلوريشيزمي، وماريشيزمي، وبيجيشيزمي، وما إلى ذلك.[١]

أحيانًا تكون هناك قصة طويلة وراء إحدى التسميات، لكن في أحيان أخرى يكون السبب واضحًا إلى حد ما. تدبَّر مثلًا بعض الأسماء الجديدة الموضوعة في العقدين الماضيين؛ على غرار نوعي الخنافس اللذين أُطلق عليهما اسم «أجرا فيشن» و«أجرا فوبيا»، وشجرة الصنوبر التي أطلق عليها اسم «بينوس ريجيدوس»، والكائن الرخوي الذي أطلق عليه اسم «أبرا كادابرا»، وفأر الكنغر المنقرض الذي أطلق عليه اسم «واكي واكي»، ونوع العناكب الذي أطلق عليه اسم «أورسون ويلز»، ونوع الحلزونات «ليتيبيتيوم» الذي يصغر في الحجم عن النوع «بيتيوم». ليس من الضروري أن تكون عالم طبيعة كي تعبث بالأسماء. في عام ٢٠٠٥ دفع أحد مواقع الويب المتخصصة في المقامرة مبلغ ٦٥٠ ألف دولار مقابل تسمية قرد من بوليفيا، وعام ٢٠٠٧ أقامت إحدى فرق المحافظة على البيئة مزادًا على حقوق تسمية ١٠ أنواع من السمك مع تخصيص المال من أجل الحفاظ على مواطنها. ودعا ستيفن كولبير أحد علماء البيولوجيا إلى برنامجه التليفزيوني وأقنع هذا العالم بتسمية أحد العناكب باسمه.[٢]

إن تسمية الأشياء أمر مطمئن، لكنَّ تتبع مسارها من وإلى تجميعة الجينات أصعب بكثير، فالعينات غير المكتملة التي لا تعطينا نظرة كاملة عن التنوع الحيوي تعني أننا

قد نعلن عن انقراض أحد الأنواع في حين أنه لم ينقرض: أفضل مثال على هذا التأثير، المسمى بتأثير لازاروس، هو سمك كولاكانت الذي أعيد اكتشافه عام ١٩٣٨، بعد أن ظُنَّ أنه انقرض منذ ٨٠ مليون عام. أحيانًا يكون أحد الأنواع قاب قوسين أو أدنى من الزوال لكنه يتمكن من البقاء.

(١-٢) التعلق بخيط

بعددهم البالغ ٦٫٨ مليارات نسمة، يكون البشر أبعد ما يكونون عن خطر الانقراض. لكن لم يكن الحال هكذا دومًا؛ فقصة أسلافنا يرويها دنا الميتوكوندريا والكروموسوم Y، وهما جزءا الجينوم اللذان لم يتغيرا بفعل التطور من جيل إلى آخر. لقد أشار نموذج «وارد من أفريقيا حديثًا» إلى أننا جميعًا ورثنا الحمض النووي من ميتوكوندريا أنثى عاشت في أفريقيا منذ حوالي ١٦٠ ألف عام، وأن جميع الرجال ورثوا كروموسومات Y من رجل أفريقي عاش منذ ٦٠ ألف عام. وبعد ظهور نوعنا مباشرة انقسم إلى مجموعة جنوبية؛ صارت أفراد قبائل البوشمان المعاصرين، ومجموعة شرقية تضم كل البشر الآخرين، بمن فيهم نحن.

عانت أفريقيا من الجفاف بين ٩٠ و١٣٥ ألف عام مضت، وتوضح أدلة الحمض النووي أن السكان مروا بـ «عنق زجاجة» شديد الضيق، ربما أدى إلى انخفاض عدد السكان إلى عدد قليل وصل إلى ألفي فرد. وبعد انقضاء فترات الجفاف، تعافى السكان وصارت هناك حوالي ٤٠ مجموعة من البشر منتشرة في أنحاء أفريقيا. حدث إجهاد بيئي إضافي بسبب انفجار بركان هائل الحجم يدعى توبا في جزيرة سومطرة منذ ٧٤ ألف عام؛ مما أدى إلى عملية تبريد شديد استمرت لعدة سنوات. ومنذ حوالي ٦٠ ألف عام بدأت مجموعتان — ربما قوام كل منهما عدة مئات من الأفراد — في الهجرة الملحمية التي ملأت العالم بالسكان. انتشر البشر إلى آسيا أولًا ثم أستراليا منذ ٥٠ ألف عام، وأوروبا منذ ٣٥ ألف عام، والأمريكتين منذ ١٥ ألف عام.

حين يتقلص التنوع الجيني في عنق زجاجة سكاني يمكن أن يتسبب في الانقراض؛ لأن الناجين ربما لا يستطيعون التكيف مع الضغوط الانتخابية الجديدة. إننا نتعلق بخيط رفيع، لكن القصة انتهت على نحو طيب في حالة البشر. وحسبما ذكر سبنسر ويلز، مدير المشروع الجينوغرافي والمستكشف المقيم في الجمعية الجغرافية الوطنية: «توضح هذه الدراسة الجديدة قوة علم الوراثة الاستثنائية في الكشف عن الرؤى المتعلقة

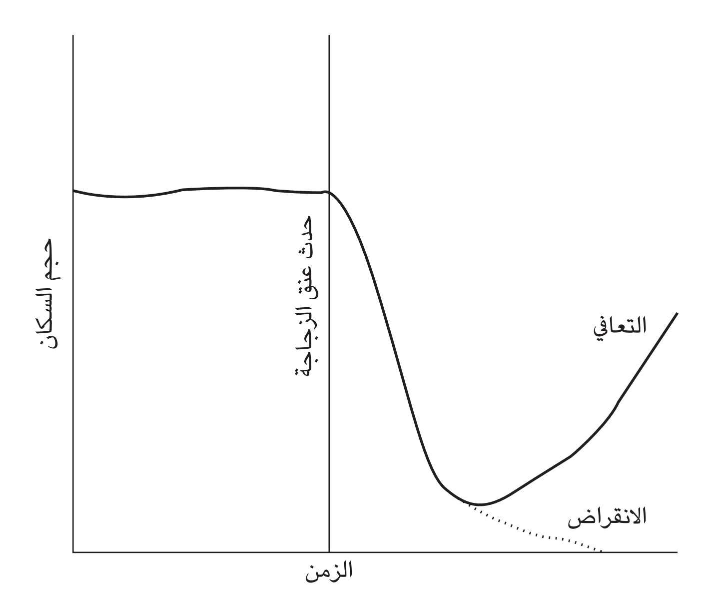
ببعض الأحداث الرئيسية في تاريخ أنواعنا، فقد عادت مجموعات صغيرة من أوائل البشر الذين أجبرهم الضغط البيئي القاسي على الانفصال من حافة الانقراض لتتحد وتملأ العالم بالسكان. إنها حقًّا دراما ملحمية مكتوبة في حمضنا النووي.»[٣]

تلعب الصعاب المؤدية إلى عنق الزجاجة السكاني دورًا مزدوجًا في البقاء التالي عليه؛ فالبيئة مختلفة، ومن ثم لا بد من تطوير سلوكيات واستراتيجيات جديدة بسرعة. الأمر أشبه بإتقان لعب التنس طيلة حياتك وفجأة صار عليك ممارسة سباق التزلق الجماعي. لكن الأنواع التي تطور سلوكيات جديدة تتمتع بمزايا فارقة في الصراع على الموارد. من منظور علم الوراثة تعد ظواهر عنق الزجاجة أخبارًا سيئة، فالجنوح الجيني يزداد لكن تجميعة الجينات تتقلص؛ لذا تبقى الجينات سيئة التكيف وتنتشر؛ لأنها لا تخضع للاستبعاد على نحو فعال في مجتمع يتناقص عدده تدريجيًّا. وقد توصل الباحثون إلى أن البشر والشمبانزي جمعا نحو ١٤٠ ألف طفرة لا فائدة لها بالحمض النووي منذ أن انفصل النوعان أحدهما عن الآخر. وفي الفئران والجرذان المنتمية للفترة الفاصلة نفسها والمتميزة بتركيب جيني متشابه إلى حد بعيد، تراكمت طفرات جينية أقل بصورة ملحوظة. ذلك يجعلنا أكثر عرضة من القوارض للأمراض الوراثية كالسرطان (الشكل ٤-١).

إلى أي مدى سيضعف الخيط قبل أن ينقطع؟ في علم البيئة ثمة حد أدنى لعدد أفراد المجتمع القابل للحياة تتنبأ النماذج فيه باحتمالية بقاء تتراوح من ٩٠ إلى ٩٥٪ لعدد من الأجيال المستقبلية يتراوح بين ٤٠ إلى ٤٥ جيلًا، وعند الثدييات الكبيرة، هذا العدد هو حوالي ٥٠ فردًا.

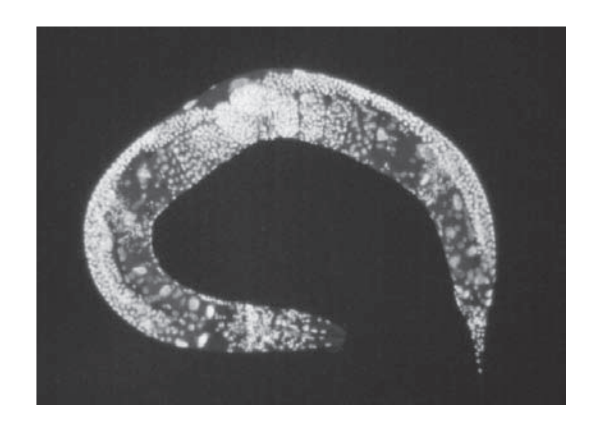
(٣-١) عن الميكروبات والبشر

في سباق التسلح التطوري بين الميكروبات والبشر تتقدم الجراثيم بمسافات طويلة. وأنت تقرأ هذه المعلومة يزيد عدد البكتيريا عشرة أضعاف عن عدد الخلايا الموجودة في جسدك البالغ ١٠ تريليون خلية؛ هذه البكتيريا تنتمي لألف نوع مختلف تقريبًا، أغلبها لا يمكن استنباته في المعمل. أغلب الكتلة الحيوية الميكروبية موجودة تحت الأرض أو في المحيطات، حيث لا تكون مرئية بسهولة، ومع أن كل واحدة منها لا تزيد في الوزن عن واحد على الكدريليون من الجرام، فإنها تزن إجمالًا مليار طن، ويبلغ عددها قرابة ٦ × $١٠^{٣٠}$ خلية.



شكل ٤-١: ينتج عنق الزجاجة السكاني عن مرض خبيث أو كارثة بيئية. حين ينخفض عدد السكان إلى حد بعيد يمكن أن يتبعه انقراض أو تعافٍ بطيء. تتسبب تجميعة الجينات المتقلصة في جنوح جيني، وهو ما يعد حافزًا للتطور، لكن يمكن أيضًا أن يتسبب في التزاوج الداخلي وقابلية الإصابة بالمرض. (TedE, Wikipedia GNU License and Creative Commons License)

معظم هذه الكائنات الدقيقة حميد، لكن أبناء عمومتها الخبثاء — الفيروسات والبريونات — يتطلعون للتسبب في مشكلات لنا، وأبوابنا ونوافذنا المجازية مفتوحة على مصاريعها. ليس الأمر أننا نعيش في عالم ميكروبي بدرجة هائلة وحسب، بل إن البكتيريا التي تقطن أجسادنا تسهم في المادة الوراثية بقدر أكبر مما تسهم به أجسادنا نفسها. علاوةً على ذلك، يعد مفهوم «هم» و«نحن» مضللًا؛ فالبكتيريا تشاركنا في غذائنا، لكنها تتفاعل مع أجسادنا والبيئة بطرق معقدة، حتى إنه من الأفضل التفكير في البشر على أنهم هجين من البكتيريا والإنسان، فالبكتيريا هي الخيوط التي ينسج منها القماش البشري (الشكل ٤-٢).



شكل ٤-٢: الدودة المسماة بـ «الربداء الرشيقة»، التي يقدر طولها بملليمتر واحد وتزيد في حجمها كثيرًا عن الجرثومة، قد تحمل تفسيرًا لوجود الطفيليات في جسم الإنسان. «الربداء الرشيقة» هي واحدة من عشرات الآلاف من أنواع الديدان الأسطوانية الموجودة في جميع النظم البيئية على وجه الأرض. تتعايش الديدان الأسطوانية مع الخنافس الآسيوية في الولايات المتحدة واليابان، وتستطيع أن تأكل البكتيريا والفطر الذي يعيش على هياكل الخنافس. والديدان الأسطوانية الطفيلية كهذه تصيب مليارَيْ شخص في العالم وتتسبب في إمراض ٣٠٠ مليون شخص على نحو خطير. (National Institutes of Health)

إن التعايش مع نظام بيئي ميكروبي معقد أمر مربك، لكن المعدلات النسبية للتطور هي التي تجعلنا في وضع غير مواتٍ. ففي خلال ١٠ سنوات تنتج البكتيريا ٢٠٠ ألف جيل، وهو العدد نفسه الذي أنتجته سلالة البشر منذ انفصالها عن سلالة الشمبانزي. وفي وقت أقل مما يستغرقه جيل واحد من البشر شهدنا ظهور عشرات من البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية وعدد كبير من الأمراض الجديدة المدمرة كالإيدز؛ إذ يُنتَج ١٠ مليارات جسيم فيروسي جديد كل يوم في كل شخص مصاب بفيروس نقص المناعة البشرية. وحين تتعرض البكتيريا لمضادات حيوية فهي إما تقاومها أو تموت. وكل من الفيروسات والبكتيريا تزيد من سرعة عملية التطور عن طريق نقل كتل كبيرة من الحمض النووي في عملية يطلق عليها اسم النقل الأفقي للجينات. إن البشر يواجهون مأزقًا تطوريًّا مماثلًا لذلك الذي صاغته الملكة الحمراء في رواية «عبر المرآة» للروائي

لويس كارول؛ حيث «يتطلب الأمر كل الركض الذي تستطيع أن تركضه فقط كي تبقى في المكان نفسه».

تدبر التعليق التالي الذي ورد عام ٢٠٠٠ في مجلة «ساينس» على لسان جوشوا ليدربرج الحائز على جائزة نوبل عن عمله في مجال التركيب الوراثي للبكتيريا: «إن ما يجعل التطور الميكروبي مثيرًا للاهتمام والقلق الشديد هو ما تتسم به تلك المجتمعات الميكروبية من ضخامة مهولة وتقلب شديد. إنها صيغة مثالية للتطور السريع للغاية. ربما تشهد المجتمعات الميكروبية تقلبًا بمعامل يصل إلى ١٠ مليارات ضعف في اليوم الواحد أثناء تنقلها بين الأجسام العائلة، أو أثناء مواجهتها للمضادات الحيوية أو الأجسام المضادة أو الأخطار الطبيعية الأخرى. وتشير مقارنة بسيطة لسرعة التطور بين الميكروبات والأجسام العائلة لها ذات الخلايا المتعددة إلى تفوق قدره مليون أو مليار ضعف في مصلحة الميكروبات، فعام واحد من حياة البكتيريا يطابق بسهولة نطاق التطور لدى الثدييات بأسره! وفي ضوء ذلك القياس يبدو أننا لا نزال في بدايات تطورنا.» [٤]

مع أنه يصعب على الطبيب لاري بريليانت أن يكون على مستوى معنى اسمه الأخير (الذي يعني بالإنجليزية «الألمعي»)، فإنه حاول ذلك. لقد اتخذ مسارًا نادرًا لكي يشتهر كفاعل خير وعالمًا شهيرًا على المستوى الدولي في مجال علم الأوبئة. هذا المسار شمل عمله طبيبًا للأمريكيين الأصليين حين سيطروا على جزيرة ألكاتراز عام ١٩٦٩، وعمله ممثلًا ثانويًّا في أفلام بهوليوود، وتأسيس واحد من أول المجتمعات الإلكترونية على شبكة الإنترنت عام ١٩٨٥، والمساعدة في إنقاذ بصر مليوني شخص في البلدان النامية. وربما يتمثل أكبر إنجازاته كطبيب شاب في أنه جزء من الفريق الذي قضى على مرض الجدري.

اختير بريليانت مديرًا تنفيذيًّا لمؤسسة جوجل دوت أورج (google.org) عام ٢٠٠٦. هذه المؤسسة هي الذراع الخيرية لشركة البحث العملاقة جوجل، ونال عمله الدعم بفضل الالتزام الذي أبداه مؤسسو جوجل بتخصيص نسبة ١٪ من أسهم الشركة بالإضافة إلى ١٪ من الأرباح لأعمال الخير. يريد بريليانت تحويل شبكة الإنترنت إلى حارس يحذر العالم من أي وباء وشيك، سواء أكان إنفلونزا الطيور أم شكلًا جديدًا من فيروس نقص المناعة البشرية. يقول: «نأمل في تطوير علم جديد تمامًا للأوبئة ومراقبة الأمراض الموجودة بالفعل واكتشاف الأمراض الناشئة مبكرًا ... وأيضًا استخدام مناورات التدريب على طاولة الخرائط والمجسمات الميدانية مع الاستعانة بأساليب شن الحروب للوصول إلى استجابة أفضل للأوبئة.»

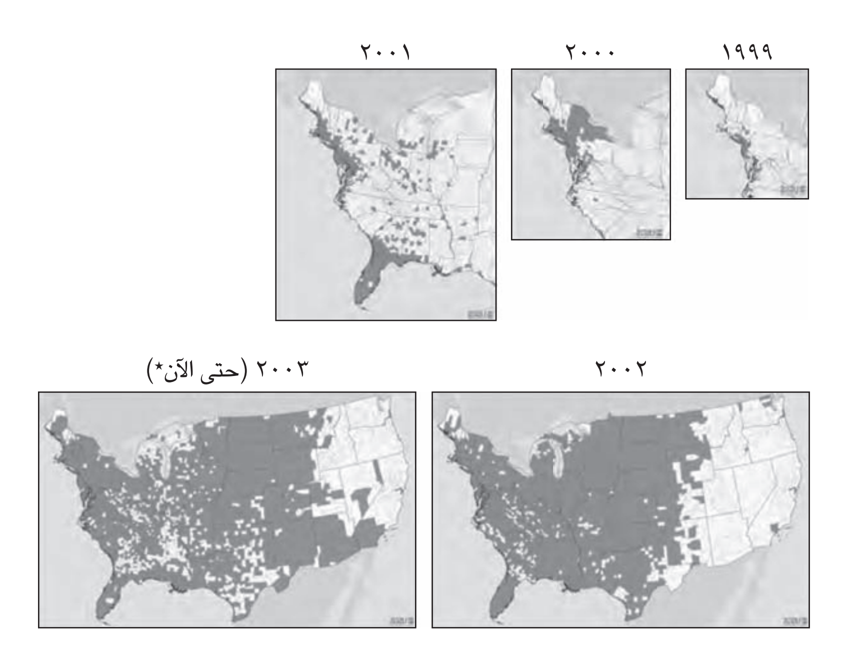
كيف سيجري الأمر؟ ستعالج أدوات وبرمجيات تقارير شبكة الويب بحثًا عن ظهور الأعراض مثل الحمى أو مشكلات الجهاز التنفسي، وسيُستخدم برنامج جوجل إيرث في البحث عن أنماط المرض أو الانتشار الجغرافي له، وكل هذا سيجتمع مع المعلومات الوراثية عن الكائنات الممرضة المحتملة والموجودة بالفعل.[٥] يقول بريليانت: «لو كنا موجودين في اللحظة التي شهدت ميلاد فيروس نقص المناعة البشرية (الإيدز) لاستطعنا الحيلولة دون هذا الوباء الرهيب.»

في عام ٢٠٠٨، ترك بريليانت جوجل ليرأس صندوق التهديدات العاجلة لمؤسسة سكول. من السهل أن نرى مدى قلقه بشأن الأوبئة؛ فبخلاف الانتشار المتزايد للبكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية، ثمة ظهور متزايد للأمراض التي تخترق حاجز النوع بحيث تنتقل من الحيوانات إلى الإنسان، ومنها إنفلونزا الطيور وداء الكلب وسارس وفيروس التهاب الدماغ الياباني وفيروس حمى الضنك وفيروس غرب النيل وحمى لاسا (الشكل ٤-٣). ربما تعد الحمى الفيروسية الأكثر إثارة للذعر؛ لأنها فتاكة على الأغلب، علاوة على أنه ليس لها علاج. ففي الفترة بين عامي ٢٠٠٠ و٢٠٠٥، أصيب ٥٠ مليون شخص بأمراض من الحيوانات، مات من بينهم ١٠٠ ألف شخص. وسنحتاج إلى خط دفاعي ذكي لصد هذا المد الرهيب.

(٤-١) نحن والمستقبل

إذا عرَّفنا الانتخاب الطبيعي على أنه «البقاء للأقوى» فسنواجه مشكلة عويصة؛ فمعدل السمنة حوالي ٣٠٪ في معظم البلدان الصناعية، والشخص البالغ العادي يتنفس بصعوبة بعد صعوده عدة درجات من السلم، و٥٠٪ من الأمريكيين تقريبًا يحتاجون إلى تصحيح الإبصار، و٣٠٪ من المواليد يولدون ولادة قيصرية بدلًا من الولادة الطبيعية. ويتسبب الوصف المبالغ فيه للعقاقير والتخوف الزائد من الجراثيم في ضعف الأجهزة المناعية لدى العديد من البالغين، مع ضعف القدرة على التعافي. فإن جردنا البشر من التكنولوجيا ودفعنا بهم إلى مواقف الصيد وجمع الطعام التي كانت غالبة منذ ١٠ آلاف عام، فلن يبقى أغلبهم على قيد الحياة لمدة شهر.

بدلًا من ذلك اختار البشر أن يقصوا أنفسهم من اللعبة؛ فالأدوات والتكنولوجيا يبدو أنها أعفت البشر من الهرج والمرج المصاحبَين للمشهد الطبيعي القاسي الذي صوَّره داروين. نحن نكيِّف أنفسنا، عمدًا، على الأشياء التي نقوم بها معظم الوقت؛ كالقيادة ومشاهدة التليفزيون والجلوس بترهل إلى المكتب والتحديق في شاشة جهاز كمبيوتر.



نشاط فيروس غرب النيل من عام ١٩٩٩ حتى عام ٢٠٠٣

■ النشاط لفيروس غرب النيل حسب التقارير الواردة إلى مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها (١١/١٠/٢٠٠٣)

شكل ٤-٣: خرائط توضح انتشار فيروس غرب النيل في الولايات المتحدة من عام ١٩٩٩ إلى ٢٠٠٣. ينتشر العامل البيولوجي بسرعة عبر المراكز السكانية ثم يملأ الأماكن جغرافيًّا حتى يصير متغلغلًا. وكثيرًا ما تتبع الأوبئة هذا النمط. (U.S. Geological Survey, Department of the Interior)

من المتعارف عليه أن التطور البشري صار بطيئًا، وربما حتى قد توقف، وفي هذا الصدد قال عالم الوراثة البريطاني ستيف جونز: «يمكن للمجتمعات الصغيرة المعزولة أن تتطور عشوائيًّا؛ إذ تُفقَد الجينات عن غير قصد. لكن صارت كل المجتمعات في جميع أنحاء العالم متصلة بعضها ببعض وتضاءلت معها فرصة التغير العشوائي. التاريخ

يُصنع في السرير، لكن صارت الأسرَّة قريبة بعضها من بعض. إننا نمتزج معًا في كتلة عالمية، والمستقبل مظلم.»[٦]

يشير جونز أيضًا إلى التغيرات التي طرأت على أنماط التكاثر؛ فانخفاض عدد الآباء كبار السن في جميع أنحاء العالم له تأثير على معدل التطافر؛ إذ تزداد الانقسامات الخلوية مع التقدم في العمر، ومع كل انقسام ثمة احتمالية بوقوع خطأ أو طفرة. وبين الحيوان المنوي الذي أنتج شخصًا عمره ٢٩ عامًا وذلك الذي يفرزه الشخص نفسه عدد من الانقسامات يبلغ ٣٠٠ انقسام. وفي حالة الأب الذي عمره ٥٠ عامًا يزيد عدد الانقسامات عن الألف. يعتقد جونز أيضًا أن نمو مجتمعنا يشير ضمنيًّا إلى أن قوة الانتخاب الطبيعي تزداد ضعفًا. وعن ذلك يقول: «في الأزمنة القديمة، كان نصف عدد أطفالنا يموت عن عمر يناهز العشرين عامًا. أما الآن، وفي عالمنا الغربي، فنسبة ٩٨٪ منهم يبقون على قيد الحياة حتى سن الحادية والعشرين.» ويجادل جونز بأن هناك ثلاثة مكونات رئيسية للتطور مختزلة في البشر، وهي: الانتخاب الطبيعي والتطافر والتغير العشوائي.

يقبل أوليفر كاري — المنظِّر التطوري بكلية لندن لعلم الاقتصاد — هذه الصورة الكلية، لكنه يضيف التنبؤ بتشعب الجنس البشري إلى نوعين بعد ألوف قليلة من الأعوام؛ فمع ازدياد الثروة ومعدلات السفر ستقل الاختلافات الثقافية. ستنشأ صفوة من الأشخاص الأذكياء طوال القامة ذوي البشرة بنية اللون، لكن الاصطفاء الجنسي سيحتم عليهم الانحراف عن أغلب البشر، الذين سيكونون بسبب الاعتماد المفرط على التكنولوجيا أشخاصًا قصار القامة يتصفون بالقصر والقبح والغباء ويشبهون العفاريت في ملامحهم. من وجهة نظر كاري تكون النتيجة صنفين من البشر؛ «أقوياء» و«نحلاء»، كجنسي الإيلوي والمورلوك في رواية «آلة الزمن» للكاتب إتش جي ويلز. لنأمل ألا يحدث هذا السيناريو المظلم أبدًا.

مع ذلك، بينما نتعرف على المزيد من المعلومات عن التفاصيل الأساسية لمادتنا الوراثية، تتراكم الأدلة على أن التطور البشري أكثر نشاطًا من ذي قبل؛ فعلى مدار الستة ملايين عام التي انقضت منذ انفصال البشر عن الشمبانزي، تغير حمضنا النووي بسرعة تزيد سبع مرات عن تلك لدى الشمبانزي. وفي حين يحول التمازج الحالي للبشر دون انحراف أي مجموعة فرعية، فإن النمو السكاني يضمن تزايد التنوع الداخلي ضمن تجميعة الجينات البشرية، ويعمل التزاوج متعدد الأعراق على مستوى الدول على إعادة توحيد جيناتنا بمعدلات غير مسبوقة.

في عام ٢٠٠٥ حدد بروس لان، عالم الوراثة بجامعة شيكاجو، اثنين من الجينات المهمة في تطور المخ انتشرا بسرعة بين الناس؛ وهما جين ميكروسيفالين الذي ظهر منذ ٤٠ ألف عام تقريبًا، ويحمله ٧٠٪ من الناس، وشكل مختلف من جين إيه إس بي إم البروتيني منذ حوالي ١٠ آلاف عام تقريبًا، ويحمله ٢٥٪ من الناس. لا أحد يعرف ما يفعله هذان الجينان، لكن ثمة أمثلة أخرى مهمة للغاية من أجل النجاح والبقاء.

يسمح إنزيم اللاكتيز للناس بتناول اللبن طوال حياتهم، وقد ظهر بعد تدجين الأبقار. ثمة مجموعة أخرى من الجينات بدأت في الظهور منذ ١٠ آلاف عام حين استقر الناس في مجموعات أكبر وصاروا يتعرضون للأوبئة. والآن يُنسب إلى هذه الجينات جزء من مقاومة السكان للملاريا والجدري بل حتى الإيدز.

قاس عالم الأنثروبولوجيا جون هوكس «الحركة التطورية المضطربة» عن طريق البحث عن الأليلات التي تختلف على مستوى قاعدة نيتروجينية واحدة في نسختين فرديتين من الجينوم. ركز جون على مواضع في الجينوم تظهر فيها الاختلافات الوراثية أكثر مما يمكن تفسيره في ضوء الصدفة، وذلك لأنه عادة ما تعطي تلك التغيرات ميزة انتخابية. وجد فريق الأبحاث أدلة على انتخاب حديث في ١٨٠٠ جين؛ أي نسبة ٧٪ من الجينوم.

لقد حدث الانتخاب الإيجابي عبر الأعوام الخمسة آلاف الماضية — وهي فترة امتداد الحضارة — بسرعة أكبر ١٠٠ مرة عنها في أي فترة أخرى من التطور البشري. وقد قال هوكس: «من الناحية الوراثية، نحن نختلف عن الأشخاص الذين عاشوا منذ ٥ آلاف عام بأكثر مما يختلفون هم عن إنسان نياندرتال.» وسيكون من المثير للاهتمام أن نعود بالزمن ٥٠ ألف عام ونرى ما صرنا عليه.

(٢) ما وراء الحياة البيولوجية

(٢-١) أكثر من مجرد إنسان

في اللوح العاشر يتأقلم جلجامش مع وفاة صديقه إنكيدو، ولأنه ملك قوي دائم الحركة؛ نصف إنسان ونصف إله، بدأ جلجامش رحلة خطيرة لزيارة الشخصين الوحيدين اللذين منحتهما الآلهة الخلود، آملًا أن يستطيع هو الآخر الحصول على الخلود. سافر ليلًا عبر اليابسة حيث يحرس البشر العقارب الشمس، وقتل جلجامش العمالقة الحجريين الذين

صاحبوا المراكبي ليكتشف بعدها أنها كانت الكائنات الوحيدة التي يمكنها عبور مياه الموت التي لا يمكن لمسها. لذا قطع ٣٠٠ شجرة إلى مجاديف بحيث يمكنه التخلص من كل واحد منها بعد إدخاله في الماء. وأخيرًا وصل إلى جزيرة أوتنابشتيم هو وزوجته وطلب عون الخالدين، فوبخاه قائلين إن محاربة مصير البشر أمر غير ذي جدوى ويفسد بهجة الحياة.

تعد «ملحمة جلجامش» — التي أطلق عليها في الأصل «مَن رأى الأعماق» — من أقدم الأعمال الروائية الأدبية. هي قصيدة ملحمية من بلاد الرافدين القديمة، وهي متأثرة بشدة بالأوديسا التي نظمها هوميروس والقصص التي أدرجت فيما بعد في الإنجيل. ربما كان جلجامش شخصية تاريخية حقيقية؛ إذ كان خامس ملوك أسرة أوروك الأولى في الألفية الثالثة قبل الميلاد، وتخاطبنا قصته عبر القرون لأنها تدور حول القلق بشأن الفقدان والموت. كان الجانب الإلهي من جلجامش يجعله يتذوق مزايا القوة وطول العمر، لكنه لم يستطع الوصول إلى الخلود (الشكل ٤-٤).

يخطط راي كرزويل لما هو أفضل؛ فهو يتناول ٢٥٠ مكملًا غذائيًّا يوميًّا ولا يشرب سوى المياه القلوية بالإضافة إلى كميات كبيرة للغاية من الشاي الأخضر، ويتجنب الأنشطة عالية المخاطر. لديه مبرر للشعور بالقلق؛ فكل من والده وجده توفيا إثر مرض بالقلب. يعاني كرزويل النوع الثاني من مرض السكر، لكنه يسيطر عليه عن طريق نظامه الغذائي دون تناول الأنسولين.

يبدو كرزويل كشخص غريب الأطوار، لكن له تاريخًا مشرفًا كعالم في التكنولوجيا، ومختص باستشراف المستقبل، ففي سن الثامنة أنشأ مسرحًا مصغرًا كان فيه جهاز آلي يحرك المشاهد، وفي سن السادسة عشرة فاز بجائزة ليميلسون من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وهي كبرى الجوائز المقدمة للمخترعين، وحاز القلادة الوطنية للتكنولوجيا. ترتبط رسالته الجوهرية بالتقدم المتسارع الحالي للحوسبة وتكنولوجيا النانو والهندسة الوراثية، وهو يعتقد أن هذه التطورات السريعة ستجتمع معًا في وقت من الأوقات بحيث يكون بمقدور البشر السمو فوق الظواهر والعمليات البيولوجية والعيش للأبد. هذا ليس سيناريو خيال علمي غامضًا؛ إذ يعتقد كرزويل أن «التفرد» — حسبما يسميه — سيتحقق في غضون ٣٠ عامًا تقريبًا.[٧]

نحن بالفعل نخطو بسلاسة على هذا الطريق، والتكنولوجيا تسير بسرعة أكبر من قدرتنا على السيطرة عليها أو استيعاب تأثيراتها الاجتماعية. ألَّف ويل جارو



شكل ٤-٤: كان جلجامش — المنحوتة صورته على نقش بارز في العاصمة الآشورية خورسباد — بطلًا أسطوريًّا يبحث عن الخلود. تتنبأ القصة بالعديد من الموضوعات والأفكار المهيمنة في الأديان التالية، وفي اشتياق جلجامش للحصول على ما هو بعيد المنال يستثير ذلك الرجل، نصف الإنسان ونصف الإله، التعاطف. (Samantha, and Wikipedia Creative Commons)

كتابه «التطور الثوري» لجذب انتباه نطاق أوسع من الجماهير إلى التطور الوراثي. وما الفياجرا والبوتوكس والاستيرويدات ومثبطات استرداد السيروتونين لعلاج الاكتئاب سوى أولى التجسيدات البسيطة للطرق التي سيمكننا بها تغيير أنفسنا باستخدام العلاج الجيني. سيظهر البشر المعدَّلون أولًا في الملاعب الرياضية وساحات القتال، لكن هندسة الجينوم نفسها ستصل إلى جمهور أوسع مع انخفاض تكلفتها. على الرغم من ذلك فالقلق يساور جارو بشأن الضغوط الاجتماعية الناتجة عن وجود مجموعة من الأفراد

يُطلق عليهم «المعزَّزون»؛ القادرون على العيش لفترات أطول، الذين سيصيرون أكثر ذكاءً وجاذبية، و«الطبيعيون»؛ الذين يمتنعون عن التحسين الوراثي لأسباب فلسفية أو دينية. ثمة مجموعة ثالثة وكبرى؛ وهم الأفراد المستبعدون من هذا التطور لأسباب مالية، الذين سيشعرون بغضب له ما يبرره.

من وجهة نظر كرزويل ستتحد الحوسبة والتكنولوجيا الطبية بحيث تتمكنان من إصلاح أجزاء أجسامنا من الداخل واستبدالها. وهو ينادي بأن فكرة العداء بين الإنسان والآلة التي يروِّج لها الخيال العلمي ليست صحيحة. بدلًا من ذلك سنتحد نحن البشر مع التكنولوجيا و«نصبح» نحن الآلة. سيكون لدينا ملايين عديدة من الروبوتات المماثلة في حجمها لخلايا الدم أو جسيمات النانو التي ستملأ أجسادنا وتنهض بدوريات حماية ضد الكائنات المرضة، وتُصلح عظامنا وعضلاتنا وشرايينا وخلايا مخنا. يقول كرزويل: «إن الموت مأساة.» وهؤلاء العمال الذين لا يعرفون التعب والمعنيون بإصلاح الأجساد سيدمرون المرض ويعيدون بناء الأعضاء ويزيلون القيود الطبيعية التي تحدُّ من ذكائنا. وسيجري تنزيل التحسينات الجينية من شبكة الإنترنت. إنها رؤية خيالية مثالية.

(٢-٢) إلى النعيم أم إلى الجحيم

لهذه الرؤية وجه آخر؛ إن كانت التكنولوجيا تستطيع هزيمة التقدم في العمر وبإمكاننا التطور إلى مخلوقات بشرية آلية، فالخلود أمر مغرٍ، لكن بعيدًا عن القضية الأخلاقية الكبرى التي يستثيرها هذا الأمر، أيجدر بنا ذلك؟ إليك السؤال العملي: ماذا لو لم تَسِر الأمور على ما يرام؟

بيل جوي أبرز مناصري سيناريو الديستوبيا (أو اليوتوبيا المعكوسة) الكئيب، وهو يملك إمكانات مثيرة للإعجاب تماثل تلك التي يملكها كرزويل. جوي هو المنشئ الرئيسي لنظام التشغيل يونكس، ومطور بارز للغة البرمجة جافا، وأسس شركة «صن ميكروسيستمز» عام ١٩٨٢. مدفوعًا بمحادثة دارت بينه وبين كرزويل في إحدى الحانات كتب جوي مقالة قصيرة مؤثرة في مجلة «وايرد» بعنوان «لمَ لا يحتاج المستقبل إلينا؟» يعتقد جوي أن أخطار هذه التقنيات هائلة للغاية، حتى إنه ينبغي علينا أن نوقف نشاط الأبحاث في بعض المجالات وندع الساسة وعلماء الاجتماع يدركون الأخطار والتهديدات التي تحملها. مثاله المفضل هو ذلك الذي يتعلق بالباحثين الأستراليين الذين كانوا

يبحثون عن عقار مانع للحمل للفئران وبدءوا يتلاعبون بفيروس جدري الفئران. ليس هذا الفيروس ضارًّا للبشر، لكنه وثيق الصلة بالجدري المهلك للبشر. بإجراء تغيير صغير في التركيب الوراثي لهذا الفيروس صار مهلكًا للفئران بنسبة ١٠٠٪، وهي نتيجة صادمة لمعظم علماء الوراثة.

ثمة كم هائل من المعلومات متاح عن الهندسة الوراثية على الويب، وصارت أساليبها سهلة التطبيق، حتى إن جوي يعتقد أن كارثة ستقع لا محالة. وهو يسأل: «إن أعطيتُ لكل شخص من مليون شخص قنبلة ذرية خاصة به، هل تفترض أن واحدًا منهم قد يتصف بالجنون بدرجة كافية لاستخدامها؟» هو قلق من أننا نملك فرصة إبادة الجنس البشري خلال الأعوام الخمسة والعشرين القادمة. في هذا الصدد يحذر جوي قائلًا: «إنَّ فشلَنَا في استيعاب عواقب اختراعاتنا ونحن لا نزال مغمورين بنشوة الاكتشاف والابتكار يبدو خطأً عامًّا يرتكبه العلماء وخبراء التكنولوجيا؛ إذ ظللنا منساقين لوقت طويل وراء رغبتنا الطموحة لدرجة أعمتنا عن تبين الطبيعة الحقيقية للعلم، ودون أن نتوقف لنلاحظ أن التقدم نحو تقنيات أحدث وأقوى يمكن أن يصير هدفًا في حد ذاته.»[٨]

يبرز جوي معلومة بسيطة موضحًا أن القنبلة لا يمكن استخدامها سوى مرة واحدة، في حين يمكن للروبوتات والكائنات الحية المعدلة وراثيًّا وجسيمات النانو أن تتكاثر من تلقاء نفسها في المستقبل القريب. ومن وجهة نظر مصمم الروبوتات هانز مورافيك، ليس هذا بالشيء السيئ. هو يعتقد أننا يجب أن نعمل بفخر على تصنيع الروبوتات التي ستحل محل البشر كجنس أعلى مكانة على الأرض. ويشير إلى أنها تعد بمنزلة أبناء لنا، وعلينا أن نتنحى جانبًا وهي تشق طريقها في الحياة.

الكثيرون يشعرون بعدم ارتياح حقيقي حيال وجهات نظر كتلك، ولحسن الحظ لا تتقدم التكنولوجيا خارج حدود المحيط الاجتماعي. على مدار تاريخ الأسلحة النووية والطاقة النووية — وهكذا الحال الآن فيما يتعلق بالخلايا الجذعية والاستنساخ — كان هناك دومًا جدال قوي بشأن المخاطر التي تطرحها كل تقنية من هذه التقنيات، وعمل المجتمع عادةً على فرض القوانين التنظيمية والضوابط. ما من سبب يدفعنا إلى الاعتقاد بأن هذا لن يحدث أيضًا مع تكنولوجيا النانو والمعالجة الجينية.

حتى المتشككون بشأن التكنولوجيا قد يشعرون بقوة جذب الرؤية المستقبلية كما يناصرها كلٌّ من جريجوري بول وإيرل كوكس في كتابهما الذي حمل عنوان «ما وراء الإنسانية»: «إننا نمر بحلم يقظة غريب؛ فترة فاصلة موجزة حتمية بين الزمن الطويل

للإنسانية المتخلفة تكنولوجيًّا من ناحية، وزمن تفوُّق البشر ... سنجد موضعنا الملائم على كوكب الأرض المزدحم بكائن حي أفضل وأكثر تنافسًا. ومع ذلك فهذه ليست نهاية الإنسانية، بل مجرد نهاية لوجودها المادي كشكل من أشكال الحياة البيولوجية.» لكننا قردة جامحة للغاية وليست الحكمة أقوى أسلحتنا، لذا لن تتحقق تلك السيناريوهات بنجاح إلا إذا انتبهنا للأمر انتباهًا شديدًا.

(٢-٣) الرفقة الكونية

إن مستقبل البشرية غامض، وأيًّا كان ما سيحمله المستقبل لنا فثمة احتمال بوجود كواكب مماثلة لكوكبنا في الكون. كل ما علينا فعله هو الافتراض بأن الأحداث التي أدت إلى وجود نوع ذكي يملك التكنولوجيا على هذا الكوكب لم تقع بمحض الصدفة.

لقد رأينا أن المكونات اللازمة للحياة موجودة في كل مكان؛ فالكون البالغ من العمر ١٣٫٧ مليار عام أوجد أيضًا عدة أماكن ملائمة للحياة على الجمرات الصخرية التي تتخلف على المحيط الخارجي البارد عند تشكُّل أحد النجوم. أفضل تقدير حالي هو وجود حوالي ١٠٠ مليون كوكب صالح للحياة في مجرة درب التبانة، التي هي مجرة واحدة من بين ٥٠ مليار مجرة. هذه مساحة كبيرة متاحة للعمليات والظواهر البيولوجية المحتملة. السؤال الآن هو: كم عدد الحضارات الذكية التي يمكن الاتصال بها في المجرة؟ بعبارة أخرى كم عدد أصدقاء المراسلة الذين قد نحظى بهم من الكائنات الفضائية؟

صاغ عالم الفلك فرانك دريك المعادلة الرئيسية في مجال البحث عن كائنات فضائية عاقلة في عام ١٩٦١. هو يدرك أنها تجسيد لجهلنا أكثر من كونها أداة يمكننا إدراج أرقام دقيقة بها للوصول إلى إجابة صحيحة ومحددة. بداية، نحن لا نعلم بعدُ أين تلك الملايين من الكواكب الصالحة للحياة، وفي الحقيقة، إن الكواكب التي نعلم بوجودها خارج المجموعة الشمسية، البالغ عددها ٤٠٠ كوكب تقريبًا، هي كواكب غازية عملاقة غير قابلة للحياة، مع ذلك فإن نماذج المحاكاة الحاسوبية تجعل علماء الفلك على ثقة من وجود كواكب أرضية (غير غازية) تنتظر اكتشافها؛ إذ إننا على بداية الطريق نحو امتلاك الأدوات القوية بالدرجة الكافية كي تمكننا من العثور عليها. علاوة على ذلك، لا بد أن نفترض أن «الآخرين» سيستخدمون تقنياتهم في الاتصال بنا أو إرسال الإشارات إلينا عبر الفضاء دون أن يقتصروا على استخدامها في تحسين حياتهم على كوكبهم الأم.

في ضوء كل ما قيل، ولكي نجد القيمة المقابلة للمعامل (ن) في معادلة دريك؛ الذي يمثل عدد الحضارات الأخرى، سنأخذ حاصل ضرب عدد النجوم المماثلة للشمس التي تولد سنويًّا، ونسبة النجوم التي تحوي كواكب، وعدد الكواكب المماثلة للأرض أو الصالحة للحياة في كل نظام، ونسبة الكواكب التي تأوي حياةً بالفعل، ونسبة الكواكب التي تستمر بحيث تطور حياة ذكية، ونسبة الأنواع الذكية التي تتعلم كيفية الاتصال عبر الفضاء، ومتوسط طول عمر الأنواع التي لها حضارات تكنولوجية قادرة على التواصل (الشكل ٤-٥).

هذا قدر كبير من انعدام اليقين.[٩] العوامل القليلة الأولى في معادلة دريك يمكن تحديدها على نحو أفضل بكثير من العوامل القليلة الأخيرة؛ فلو افترضنا أن ثمة خمسة نجوم جديدة مماثلة للشمس تتشكَّل سنويًّا، وأن نسبة ٥٠٪ من هذه النجوم لها كواكب، وكذلك احتواء كل نظام على كوكبين مماثلين للأرض، بالإضافة إلى أن جميعها تتطور الحياة على سطحه، لكن نسبة ٢٠٪ منها فقط تصل إلى الذكاء والتكنولوجيا، فهذا سيبسط المعادلة على صورة ن = ط؛ بمعنى أن إجمالي عدد أصدقاء المراسلة الفضائيين يعتمد على متوسط طول عمر حضاراتهم. كان فرانك دريك منبهرًا للغاية بالصيغة الرائعة التي توصل إليها، حتى إن لوحة أرقام سيارته حملت الحروف الأولى منها.

كانت مجرة درب التبانة موجودة منذ أكثر من ١٢ مليار عام. والنجوم تولد وتموت طوال الوقت. في بعض الأماكن بدأت الحياة البيولوجية لتوها على كوكب تشكَّل حديثًا، وتطورت الحياة في كواكب أخرى لملايين عديدة من السنوات، وتخمد الحياة في كواكب أخرى بفعل موت النجم الذي تدور حوله. وفي عدد أكبر بكثير من المواقع يكون الكوكب موجودًا، لكنه لا يستضيف على سطحه حياة من أي نوع. وتؤكد معادلة دريك في صورتها المبسطة على هذه الاحتمالات المتنوعة. إنها مرآة نحملها كي نرى انعكاساتنا في النجوم.

إن ما يهم ليس الوقت الذي يتصف فيه النوع بالذكاء، وإنما ذلك الذي يجمع فيه بين الذكاء والتكنولوجيا بدرجة كافية لإرسال الإشارات في الفضاء أو الاستماع إلى الإشارات المرسلة من حضارات مماثلة. لاحظ أن معادلة دريك تركز انتباهنا بوجه خاص على الأنواع التي تحقق القفزة من الوعي بالذات إلى التكنولوجيا. وفي ذلك توصيف مبالغ فيه؛ فنحن نتقاسم كوكب الأرض مع أنواع ذات وظيفة معرفية عالية وتبصُّر بالذات، لكنها لا تملك إخضاع الطبيعة لإرادتها؛ مثل الفيل والأخطبوط والحوت القاتل. في تنبئنا



شكل ٤-٥: تبدأ معادلة دريك بعدد النجوم المماثلة للشمس الموجودة في مجرة درب التبانة، ثم تنقح العدد بواسطة عدد من العوامل المتعاقبة تمثل النجوم التي لها كواكب، والكواكب التي تحمل حياة على سطحها، وأشكال الحياة الذكية، وأشكال الحياة الذكية التي يمكنها الاتصال عبر الفضاء. (Adapted from an original concept by Frank Drake, UC Santa Cruz)

بالاحتمالات الرائعة للتطور البيولوجي في الفضاء، هل نحن مهتمون حقًّا باستخدام أجهزة الطاقة أكثر من اهتمامنا بنظم الشعر؟

إن كان الذكاء ملمحًا دائمًا في تطور الكائن، وتشكُّل التكنولوجيا مرحلة مؤقتة منه، فعندئذ ستعطي معادلة دريك تقييمًا متشائمًا لإمكانية وجود رفقة كونية، وهو ما يرجع للفارق في الحجم. دعنا نتجاهل مؤقتًا الأنواع التي تظل حبيسة لأفكارها.

فكِّر في احتمالين. من الواضح أننا نقترب من منتصف ليل ساعة يوم القيامة. افترض أننا وصلنا إلى التفرد الذي تناوله كرزويل، وأن عدم استقرار هذه التكنولوجيا يدمرنا. إن حدث ذلك في غضون ٥٠ عامًا فسنكون قد بدأنا في إرسال إشارات الراديو وسفن الفضاء في الفضاء منذ ١٠٠ عام، إذن (ط) = ١٠٠ عام و(ن) = ١٠٠. مع تناثر مائة حضارة في أرجاء الفضاء ستكون المجرة مكانًا مهجورًا للغاية. وسيبلغ متوسط المسافة بين أصدقائنا بالمراسلة حوالي ١٠ آلاف سنة ضوئية. والأسوأ من ذلك أنهم لا يعيشون سوى ١٠٠ عام في حالة قابلة لنقل الإشارات، بحيث لا يمكن تبادل أي إشارات قبل أن تُدمِّر أيٌّ من الحضارتين نفسها.

تفترض عملية حسابية أكثر تفاؤلًا أننا سنبقى طيلة فترة البقاء النموذجية لأحد الأنواع ونحن بحالتنا المتقدمة حاليًّا، وذلك يعطينا مليون عام؛ عندئذ سيكون (ط) = مليون عام و(ن) = مليونًا. في هذه الحالة تكون المجرة حافلة بالحضارات، ومتوسط المسافة بينها هو ١٠٠ سنة ضوئية فقط. لقد قصرنا انتباهنا فقط على النجوم القليلة الموجودة في درب التبانة والبالغ عددها مائة مليار نجم. لا بد من ضرب عدد الكائنات الفضائية الذكية الموجودة في مجرتنا في عدد المجرات الموجودة بالكون التي يبلغ عددها ٥٠ مليار مجرة. معظم هذه المجرات يقع على مسافات شاسعة، لكن إن استمرت بعض الحضارات لعشرات أو مئات الملايين من الأعوام يمكنها التحاور عبر المجرات.[١٠]

إن كانت تلك الأنواع موجودة فقد تخطَّت درجة التفرد كثيرًا، وستبدو لنا خالدة كالآلهة. قد لا تكون الرفقة الكونية، أو وعد الخلاص على يد كيان أكثر سموًّا، تحفيزًا كافيًا لنا لاجتياز طفولتنا التكنولوجية المحفوفة بالمشكلات، لكن إن استطعنا ذلك يمكننا أن نحتل مكاننا بين أبناء النجوم.

الفصل الخامس

نسيج الحياة

إن الرجل الذي قال إن الأرض تحيا يعيش في بيئة رعوية في ريف إنجلترا. ثمة طاحونة قديمة بجوارها كوخ مسقوف بألواح الأردواز داخل زقاق ريفي صغير في قلب مقاطعة ديفون، وفيه يعيش جيمس لافلوك مع زوجته الثانية وأصغر أبنائه، المصاب بإعاقة معتدلة. من حولهم يمتد ٣٠ فدانًا تكسوها الأشجار. إنها الأرض في أقصى صورها الطبيعية.

حين كان لافلوك صغيرًا كان الريف مكانًا مقدسًا. لقد نشأ في أسرة فقيرة عاملة في جنوب لندن، وقضى والده ستة أشهر في السجن في شبابه لسرقته أرنبًا لتحسين نظامه الغذائي الفقير. كانت أمه من أوائل المناصرين لحقوق المرأة. وقام على تربيته جده وجدته. في المدرسة كان طالبًا شارد الذهن يعاني صعوبة القراءة ويهتم بالمزاح أكثر من الواجب المنزلي، وكان ينغمس لأيام متواصلة في العوالم الخيالية للكاتبَيْن جول فيرن وهربرت جورج ويلز، لكن حين اصطحبه والده في نزهات ريفية طويلة للهروب من سخام لندن ودخانها، بدلت هذه التجربة حاله؛ حينئذٍ قال إنه رأى وجه ربة الأرض «جايا» لأول مرة.

كان لافلوك واحدًا ممن بدءوا الحركة البيئية، وهو يعمل على طاولة المطبخ في منزله عام ١٩٥٧ اخترع جهازًا صغيرًا يمكنه أن يقيس التركيزات الدقيقة للمواد الكيميائية والمواد الملوثة في الهواء. وبعد مرور خمسة أعوام حذَّرت العالمة راشيل كارسون من الاستخدام الضار للمبيدات في كتابها الأول من نوعه الذي حمل عنوان «الربيع الصامت»، وسرعان ما اسْتُخْدِم جهاز لافلوك في توثيق ادعاءات كارسون بالبيانات الرقمية وإيضاح كيف يمكن مثلًا لأحد المصانع في اليابان أن يؤثر على جودة الهواء في أوروبا.

طرأت فكرة الربة جايا في ذهن لافلوك في أعقاب أزمة نفسية عاناها في منتصف عمره. كان في منتصف الأربعينيات يؤدي وظيفة راتبها يسدد له الفواتير، لكنها تشعره بالملل. كان له أربعة أبناء، يعاني أحدهم عيبًا خلقيًّا، وأم خَرِفة طاعنة في السن. كان يدخن ويشرب الكحوليات ولم يكن سعيدًا؛ لذا حين تلقى دعوة مفاجئة إلى مختبر الدفع النفَّاث في كاليفورنيا للعمل على مجسات كوكبية، قَبِل الدعوة بشغف.

كان العلماء في مختبر الدفع النفَّاث يصممون آلات من أجل مهام السفينتين «فايكنج» المقرر هبوطهما على كوكب المريخ والتحقق من وجود حياة عليه. كانت خطتهم هي حفر التربة والتحقق من احتوائها على بكتيريا، لكن ثمة فكرة راودت لافلوك، وهي: لِمَ لا يتم اختبار الغلاف الجوي بدلًا من ذلك؟ إن كانت هناك حياة، فستستخدم المواد الخام في الغلاف الجوي وتفرز مخلفاتها فيه مجددًا، كما هو الحال مع الحياة على سطح الأرض، ومن السهل التحقق من انعدام التوازن الناتج عن الحياة. إن وجهة النظر المختلفة هذه جعلته يفكر في الكوكب الذي يعيش عليه بطريقة جديدة، فحين يُنظر إلى سطح الأرض من بعيد يبدو مزخرفًا بالحياة، لكن الحياة تحقق توازنًا مع الغلاف الجوي. كانت رؤيته تتمثل في طرح أسئلة عن الغلاف الجوي لم يسبق لأحد أن طرحها.

نحن جميعًا نستنشق من الغلاف الجوي أول نفس لنا يبقينا على الحياة، ثم نعتبره أمرًا مسلمًا به بقية حياتنا. نحن نثق في أنه لن يتغير قدر ثقتنا في شروق الشمس وغروبها. إنه نافذة مثالية من الزجاج الملون نطل منها على العالم، لكنه أيضًا مزيج من الغازات غير المألوفة القابلة للاشتعال. إن الفكرة التي استنار بها ذهن لافلوك عام ١٩٦٥ هي أن الهواء الذي نتنفسه يحتفظ بنفس تركيبته، ومن ثم لا بد من وجود شيء ما يعمل على تنظيمه؛ وذلك الشيء هو الحياة.

* * *

(١) الأرض غير المستقرة

(١-١) كوكب يعجُّ بالنشاط

افترض أن حضارة غريبة من خارج الأرض تقوم بدوريات في منطقتنا في المجرة، مستعينة بمجسات حساسة مصمَّمة للتحقق من الحياة بأشكالها المتنوعة. ثمة آلاف من

الحراس الآليين البالغي الصغر الذين يهيمون في المجموعة الشمسية ليهبطوا على كل هدف مقبول ظاهريًّا ثم يرسلوا تحليلهم مرة أخرى بسرعة الضوء. تخيل أن هناك مائة مجسٍّ بالضبط مستقرين في مواضع عشوائية على الأرض كمطر معدني خفيف، ما الذي سيعثرون عليه؟

حوالي ٧٠ منها ستهبط على المحيطات. قد تجد آلاتهم مليار خلية في كل لتر نموذجي من المياه المالحة يضم أكثر من ٢٠ ألف نوع من البكتيريا، وقد تحمل ملعقة المياه المالحة الصغيرة من الحمض النووي ما يزيد عن مجموع الجينوم البشري بأسره، وسيهبط تسعة منها تقريبًا على الأراضي العشبية وتأخذ عينات من مئات الأنواع من النبات والحيوان، وسبعة منها ستهبط في الصحاري التي تضم عددًا قليلًا من الحيوانات، لكنها تحوي عددًا هائلًا من النباتات ومئات الأنواع من البكتيريا. وقد يُدعى الحراس الستة الذين هبطوا في الغابة الاستوائية إلى وجبة من التنوع الحيوي: إذ سيرون ٥٠٪ من الأنواع الموجودة بالكوكب ومئات الأنواع المختلفة من الحيوانات والنباتات، وسيهبط أربعة منها في غطاء التندرا القطبي الذي يحوي عددًا قليلًا من الحيوانات لكنه يضم العديد من النباتات والأشنة والطحالب والبكتيريا، وسيهبط حوالي ثلاثة على الجليد أو في مناطق كساها الجليد، وحتى هناك قد يكشف المشهد المتجمد عن آثار لظواهر وعمليات بيولوجية؛ فالبكتيريا تكون نشطة في جليد القطب الجنوبي عند درجة حرارة –٢٠ مئوية (–٤ فهرنهايت).

قد تنجح المجسات في مهمتها سواء أتمكَّنتْ من رؤيتنا أم لا. في زمان شكسبير، كانت لندن المدينة الوحيدة التي تضم مليون نسمة؛ في حين يزيد عدد هذه المدن الآن عن ٤٠٠ مدينة، ونصف سكان العالم يعيشون في مناطق حضرية، ويشغل كل كيلومتر مربع منها أكثر من ٤٠ شخصًا، لكنهم يشغلون أقل من نسبة ٥٪ من مساحة اليابسة؛ لذا قد يستطيع مجسٌّ واحد من بين ١٠٠ مجس في المتوسط أن يرى أثرًا واضحًا لحياة ذكية. لا مشكلة في ذلك؛ فالمجسات الأخرى البالغ عددها ٩٩ مجسًّا قد تتحقق من وجود مخلوقات كبيرة وصغيرة ومجهرية؛ لأن الحياة تحكم قبضتها على الكوكب كالحمى.[١]

يدعم التاريخ المبكر للأرض فكرة استمرارية الحياة ودوامها. لقد محا النشاط البركاني وتكتونيات الصفائح معظم الأدلة المتبقية من أول ٧٠٠ مليون عام بعد تشكُّل الأرض؛ الفترة التي يطلق عليها دهر الهاديان، فالسخونة والضغط يغيِّران من طبيعة الصخور، وأيضًا يمحوان الدليل الدقيق على الحياة الميكروبية؛ لذا لم تخلِّف هذه المرحلة

المبكرة من الأدلة سوى القليل للغاية. إن أمسكت بصخرة، بصرف النظر عن مكانك على الأرض، فالأغلب أن يبلغ عمرها على أكثر تقدير مائة أو مائتي مليون عام. يذهب علماء الجيولوجيا إلى أماكن قليلة خاصة للبحث عن صخور بدائية ثم يبحثون عن الحياة القديمة داخلها.

تأتي أقدم عينات صخرية لا جدال بشأن عمرها من تكوين بركاني بالقرب من نهر أكاستا في الأقاليم الشمالية الغربية بكندا، حيث يبلغ عمر النتوء الصخري ٤ مليارات عام، وعُثر حديثًا على صخور يصل عمرها إلى ٤٫٣ مليارات عام في منطقة قريبة بشمال كندا. وتأتي أقدم صخور تحمل دليلًا لا جدال بشأنه على الحياة من غربي أستراليا: من «جحور» حفريات الميكروبات التي تبلغ من العمر ٣٫٣٥ مليارات عام، ومستعمرات لحفريات الميكروبات يطلق عليها اسم الرقائق الكلسية الطحلبية ويبلغ عمرها ٣٫٥ مليارات عام.

قبل ذلك يكتنف الأمر الغموض، وذلك بسبب صعوبة تفسير الأدلة المادية المحدودة. كان من المعتقد أن دهر الهاديان يطابق الرؤية المسيحية للجحيم كمكان للنار وأحجار الكبريت الحارق، وكان من المعتقد أيضًا أن الماء ظهر بالأساس في نهاية حقبة القصف من قِبل الكويكبات والنيازك، وأن الحياة لم يكن بالإمكان أن تبدأ قبل انتهاء هذه الفوضى؛ أي منذ حوالي ٣٫٨ مليارات عام، لكن الأبحاث التي أُجريت حديثًا تشير إلى أن الأرض في المليار الأول لها كانت أشبه بالعالم السفلي في الأساطير الإغريقية: مكان بارد ضبابي كئيب. إليك ما نعتقد أننا نعلمه:

تشكَّلت الأرض منذ ٤٫٥٥ مليارات عام، وكان النشاط المبكر شديدًا؛ ففي غضون ٣٠ مليون عام — أي نسبة ٠٫٥٪ من حياة كوكبنا الناشئ — جرى تجميع كوكب الأرض بالكامل مثلما تتجمَّع حبيبات التراب لتشكل صخورًا صغيرة، ثم صخورًا بحجم الجبال، ثم تجمَّعت تلك الأجزاء الكبيرة بفعل الجاذبية في كوكب ضخم مصهور بالحرارة، ثم تمايزت الصخور إلى طبقات لتشكل الوشاح، ثم ارتطم جسم يماثل المريخ في حجمه بالكوكب الوليد لتنفصل عنه كتلة شكلت القمر. رائع!

حصلنا على رؤى مذهلة من أقدم المواد التي عُثر عليها على الأرض، ليس الصخور بل بلورات الزركون شديدة الصغر الآتية من غربي أستراليا. تبلغ أقدم عينة قرابة ٤٫٤ مليارات عام، والكثير منها يزيد في عمره عن ٤٫٢ مليارات عام. وتشير المعادن الموجودة داخل البلورات إلى عالم رطب ذي قشرة صلبة تحدث فيه عمليات إعادة تجميع

للصخور.[2] ولأن الشمس كانت أكثر إعتامًا آنذاك بنسبة ٣٠٪ فالأرض كانت باردة، وربما كانت أجزاء منها مغطاة بالجليد. في ضوء هذه الصورة الجديدة، من المقنع أن تكون الحياة بدأت في غضون مائة مليون عام فحسب من التشكُّل؛ أي قبل مليار عام من عمر أول دليل متاح لنا.

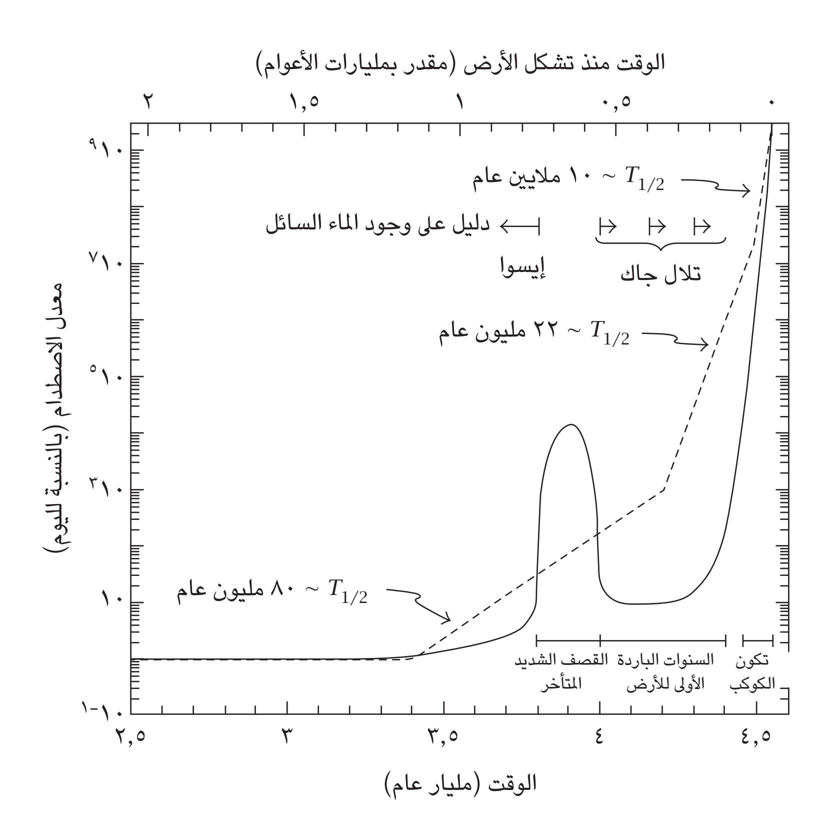
لم تكن الرحلة سلسة بعد ذلك؛ فعبر النصف مليار عام التالي قابَل الكوكب مجموعة من الاصطدامات، وكانت الكواكب الخارجية تتخذ مواضعها الحالية مرسلة موجة من الكويكبات في مدارات متقاطعة مع الأرض. تشير العمليات الحسابية التي أجراها العالم الجيوفيزيائي نورم سليب بجامعة ستانفورد إلى أننا تعرضنا لاصطدام أكثر من عشرة أجرام، يبلغ قطر الواحد منها ١٥٠ كيلومترًا. بلغ قطر ثلاثة أو أربعة أجرام قرابة ٣٠٠ كيلومتر، وكانت الارتطامات عنيفة لدرجة تكفي للتسبب في غليان معظم المحيطات. بعد كل واحد من هذه الارتطامات الهائلة كان الغلاف الجوي يمتلئ بالضباب والأبخرة المتصاعدة من الصخور، وكانت عودة المحيطات إلى مستوياتها العادية تستغرق آلاف الأعوام (الشكل ٥-١). لا يتفق علماء الجيولوجيا على حجم الاصطدام «الماحي للحياة»، لكن حتى في أعمق أجزاء المحيط أو داخل القشرة الأرضية لم تكن الحياة لتبقى في وجه الدمار الذي جلبته الاصطدامات الأكبر حجمًا.

ما دامت الأرض تمتعت طيلة ٩٥٪ على الأقل من تاريخها بغلاف حيوي ينتشر في كل حدب وصوب، فيبدو إذن أن الحياة البيولوجية هي حالة طبيعية للكوكب. وهذا يقودنا إلى سؤال مهم: كيف بدأت الحياة؟

(١-٢) شيء نشأ من نذر يسير

تبدو آليات العمل الداخلية لأبسط الخلايا معقدة وعميقة للغاية؛ لذا لا عجب أن الأشخاص الذين لم يحظوا بتدريب في مجال علم الأحياء يركنون بسعادة إلى مدارس التصميم الذكي والمدارس الخلقوية. لم ينشأ المحيط الحيوي من العدم، بل خُلق من نذر يسير من أشكال بسيطة للمادة الجامدة. والسؤال: كيف بدأت الحياة؟ يستدعي أولًا طرح السؤال: ما الحياة؟ ثم سؤالًا أعمق يكمن وراءه هو: لِمَ الحياة؟

آمن الناس طيلة ما يزيد عن ٢٠٠٠ عام بأن الحياة نشأت تلقائيًّا وبصورة روتينية من مادة جامدة. اعتقد أرسطو أنها حقيقة بديهية أن تنشأ اليرقات من اللحم الفاسد، والفئران من القش، والطيور من الأشجار، والقمل من العرق، والتماسيح من الأخشاب



شكل ٥-١: معدل الاصطدام على مدار أول مليارَيْ عام من تاريخ الأرض. يوضح المنحنى المتقطع انخفاضًا أسيًّا في ثلاث مراحل، مع انخفاض معدل الاصطدام بنسبة ٥٠٪ ($T_{1/2}$) منذ ١٠ و٢٢ و٨٠ مليون عام. يوضح المنحنى المتصل النموذج المفضل لانخفاض سريع للغاية تبعته حقبة القصف المتأخر. يدعم الدليل على وجود الماء في بلورات الزركون من تلال جاك في غربي أستراليا فكرة وجود مناخ بارد ملائم على كوكب الأرض بعد ٢٠٠ مليون عام على تشكله. الجزء السفلي من الرسم مقاس بمليارات الأعوام. (John Valley, University of Wisconsin–Madison)

المتعفنة. كذَّبت التجارب البسيطة التي أُجريت في منتصف القرن السابع عشر وجهة النظر تلك، وفي النهاية جرى تفنيدها حين قدَّم باستير الدليل على النظرية الجرثومية

وفكرة أن الكائنات الحية تنمو من كائنات حية أخرى. وفي منتصف القرن التاسع عشر فسَّر باستير عمليتَي توالد وتطور الكائنات الدقيقة، وفسَّر داروين عمليتَي التوالد والتطور المماثلتين لدى الكائنات الحية، لكن لا تزال هناك حاجة إلى التساؤل عن كيفية تحول المادة الجامدة إلى حياة في المقام الأول.[٣]

تُنسب الأبحاث المتعلقة بأصل الحياة للعلم التاريخي لا للعلم التجريبي. ثمة آثار مباشرة قليلة خلَّفها أول مليار عام من تطور الأرض، ومن الصعب الوصول إلى علامات بيولوجية دقيقة من صخور خضعت بالفعل للتشويه الكامل. ومن المدهش أن يكون لدينا نظريات قابلة للاختبار من الأساس في ضوء الأحداث المذهلة التي حوَّلت المعدن إلى عضلات، والطين إلى قناع تمويهي، والبكتيريا إلى تغريد للعصافير، والجزيئات البسيطة إلى السلم الحلزوني المرتفع للحمض النووي.

تحاشى داروين القضية في كتابه «أصل الأنواع»، لكن في خطاب أرسله إلى زميل له عام ١٨٧١ اقترح أن الحياة ربما بدأت «في بِركة صغيرة دافئة تحوي كل أنواع الأمونيا وأملاح الفوسفوريك والضوء والحرارة والكهرباء وغيرها، وهكذا تشكَّل مركب بروتيني كيميائي جاهز للخضوع لتغييرات أخرى أكثر تعقيدًا». وفي عشرينيات القرن العشرين طوَّر كل من عالم الكيمياء الحيوية الروسي ألكسندر أوبارين وعالم الأحياء التطورية البريطاني جون هالدين فكرة «الحساء البدائي»، وهي تذهب إلى أنه يمكن لجزيئات عضوية صغيرة أن تصير أكثر تعقيدًا في المحيطات البدائية دون توفر الأكسجين، لكن بمساعدة ضوء الشمس. اختبر الكيميائي الأمريكي هارولد يوري وتلميذه ستانلي ميلر فرضية أوبارين وهالدين عام ١٩٥٢ بواسطة التجربة التقليدية التي حملت اسم «الحياة في زجاجة»، وفيها تفاعلت المكونات الكيميائية وظروف الطاقة المميزة لأول مليار عام من عمر الأرض في قارورة مغلقة. لم تنتج أي حياة، لكن نتج الكثير من الوحدات البنائية الأساسية. وفي تطور حديث ممتع أعيد تحليل واحدة من تجاربهما التي لم تُنشر، ووُجد أن القارورة التي جرى فيها تصميم الظروف بحيث تحاكي انفجارًا بركانيًّا قد احتوت على نحو مفاجئ على ٢٢ حمضًا أمينيًّا.

متى بدأت الحياة؟ ربما بدأت الحياة على سطح الأرض منذ وقت بعيد يصل إلى ٤٫٢ أو حتى ٤٫٤ مليارات عام، لكنها كانت تختفي على الفور بسبب الارتطامات. ربما وقعت «الارتطامات المثبطة» للظواهر والعمليات البيولوجية عدة مرات. تُظهر الصخور الواردة من التكوين الصخري إيسوا في جرينلاند معدلَ امتصاص للكربون المشع يشير إلى وجود

آلية أيض كانت قيد العمل منذ ٣٫٨٥ مليارات عام؛ أي بعد نهاية حقبة القصف الشديد مباشرة. ليس هذا الدليل حاسمًا. ومستعمرات البكتيريا المرصودة في سجل الحفريات لم تظهر إلا بعد مرور ٣٠٠ مليون عام على ذلك الوقت. كان بمقدور الحياة التي نشأت بالقرب من الشقوق البركانية في أعماق المحيطات أن تنجو من الارتطامات، لكن ثمة مشكلة في الاستمرارية؛ إذ إن الشقوق الحرارية المائية ليست بيئات مستقرة طويلة الأجل؛ فهي تظهر وتختفي، وليس بوسع الحياة أن تنتقل بسهولة من واحدة لأخرى.[٤]

قد لا يمثل الوقت مشكلةً؛ لأن الانتقال من الحساء البدائي إلى الكائنات البسيطة كان يمكن أن يحدث بصورة سريعة. أشارت دراسة أجراها كلٌّ من عالم الأحياء المكسيكي أنطونيو لازكانو وستانلي ميلر إلى أن النظم المتناسخة ذاتيًّا القادرة على التطور الدارويني يمكن أن تنشأ في أقل من مليون عام،[٥] وربما تطورت البكتيريا الزرقاء البدائية بمعدل تضاعف جيني يبلغ واحدًا لكل ألف عام. يعني ذلك أن الانتقال من الحساء البدائي إلى الجراثيم قد يستغرق أقل من ١٠ ملايين عام.

ما من نظرية واحدة مقبولة تفسر كيف بدأت الحياة. انتهجت بعض المجموعات — كتلك التي يقودها كريج فينتر في «معهد أبحاث الجينوم» — منهجًا تنازليًّا على سبيل التجربة؛ إذ تجري هندسة الخلايا بدائية النوى لتحوي عددًا أقل وأقل من الجينات، حتى الوصول إلى الحد الأدنى من متطلبات الحياة.[٦] تستخدم مجموعات أخرى — كتلك التي يقودها جاك زوستاك بجامعة هارفارد — منهجًا تصاعديًّا؛ بحيث تحاول تركيب خلايا بدائية من مكونات أبسط.

في الانتقال من انعدام الحياة إلى الحياة، يبدو أن أصعب خطوة هي تحويل الوحدات البنائية العضوية البسيطة إلى مركبات كيميائية (بوليمرات) ثم إلى بنى معقدة تتفاعل على نحو متسق كي تشكل خلية بدائية. كمثال على المشكلات التي قوبلت في هذا البحث، يعد الماء مادة مذيبة مفيدة؛ إذ يعمل على إذابة ونقل المواد الكيميائية التي تنفذ العديد من الوظائف البيولوجية. لكن الماء يعمل أيضًا على تفتيت البوليمرات بدلًا من بنائها، وهو ما يعيق تكوين البنى الأعقد. وثمة مسألة أخرى دائمة وهي أن الخلايا الحديثة تتطلب العمل التعاوني للبروتينات والأحماض النووية، ولا يمكنها أن تعمل دون أي منهما. كيف نعلم إذن أيًّا منهما جاء أولًا؟

يعتقد الكثير من علماء الأحياء أن جزيء الحمض الريبي النووي (الرنا) المرن والناقل للمعلومات سبق الحمض النووي (الدنا) في الوجود. نتيجة لذلك أجري بحث على

ما يُطلق عليه اسم فرضية «عالم الحمض الريبي النووي»؛ المقصود به الوقت الافتراضي السابق على تكوُّن الخلايا الأولى حين عملت الخيوط القصيرة للحمض الريبي النووي (أو حتى لحمض ذي صلة أكثر بدائية) على تحفيز عملية تناسخها، فالنمو يمكن أن يحدث في الطمي أو أسطح معدن البيريت أو ضمن كريات ميكروية دهنية تتشكل تلقائيًّا. أظهرت الأبحاث أن الانتخاب الدارويني يعمل في البنى ذاتية التحفيز؛ بهدف التفوق على الجزيئات الأقل فائدة. فكِّر فيها وكأنها آلات مصنوعة من مكعبات الليجو وقادرة على أن تضيف إلى نفسها، ثم تتنافس الآلات الناتجة في حلبة واحدة ولا يظل منها على قيد الحياة سوى أكثرها كفاءة أو قوة.

الوقت وحده هو ما سيخبرنا هل قصة عالم الحمض الريبي النووي «خيالية» أم أنها سيناريو مقنع عن الكيفية التي بدأت بها الحياة؟ في تلك الأثناء ثمة أفكار أخرى جديدة مطروحة؛ ففرضية «عالم الحديد والكبريت» للعالم جونتر فاخترشاوسر تذهب إلى أن الأيض يسبق الوراثة في الوجود. الفكرة الأساسية في نموذجه هي أن التعقيد الكيميائي الحيوي لا يتزايد في المحيطات المفتوحة، وإنما في الشقوق الحرارية المائية. هل تريد أن تعرف وصفة للحياة؟ اغْلِ الماء، قلِّب فيه كبريتيد الحديد، أضف غاز أول أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين، وانتظر حتى تتكون البروتينات والأحماض الأمينية.

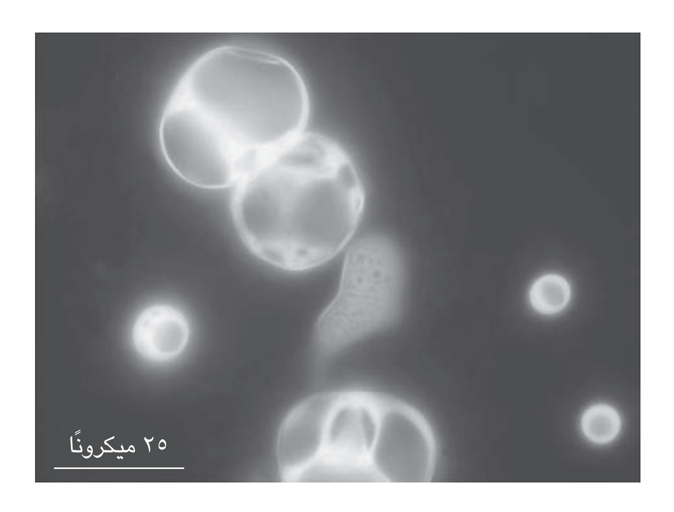
حظي نموذجه حديثًا بقوة دافعة مصدرها الباحثون الذين يرون أن الخلايا الأولى لم تكن حية، وإنما كانت خلايا غير عضوية مكونة من كبريتيد الحديد الذي تشكَّل في الظلام الدامس لقاع المحيطات، فالتجويفات الصغيرة قرب الشقوق الحرارية المائية يمكن أن تعمل كحاويات للتفاعلات الكيميائية، بحيث تركز المكونات لكن مع تدفق ثابت للسائل الحراري المائي من خلالها. بالإضافة إلى ذلك توصَّل كلٌّ من روبرت هازين، عالم الجيولوجيا بمؤسسة كارنيجي، وديفيد ديمر، الكيميائي بجامعة كاليفورنيا بسانتا كروز، إلى أنه عند تعريض محلول البيروفات المائي لظروف مماثلة لتلك بالقرب من أحد الشقوق الحرارية المائية يمكن لحويصلات مشابهة للخلايا أن تتشكل تلقائيًّا (الشكل ٥-٢). والبيروفات مركَّب مهم في الكيمياء الحيوية؛ إذ يوجد عند تقاطع شبكة من المسارات الأيضية. ربما كانت الكائنات المتصاعدة من الفتحات البركانية «آخر أسلافنا المشتركين»، وهذا الغشاء مكَّن هذه الخلايا البدائية من أن تترك كهوفها.

(١-٣) الحياة على الحافة

تخيل أنك تقفز في حمام سباحة بارد لطيف في أحد أيام الصيف الدافئة، بعد ذلك تخيل أن هذا الحمام ممتلئ بماء يقترب من درجة الغليان أو يزيد بالكاد على درجة التجميد. الآن تخيل أن الحمام كان ممتلئًا بالخل أو غاز الأمونيا المخصص للاستخدام المنزلي أو أحد منظفات مصارف المياه أو حمض البطارية. في كل الحالات عدا الحالة الأولى ستكون في مأزق في غضون ثوانٍ، وستلقى حتفك بعد وقت قصير. لكن هناك كائنات دقيقة لا يمكنها فحسب أن تتحمل كل ظرف من هذه الظروف، وإنما يمكنها أيضًا أن تنمو بازدهار فيها. يُطلق على هذه الكائنات متناهية الصغر اسم «كائنات البيئات القاسية»، وقد تحدت هذه الكائنات افتراضاتنا بشأن الظروف التي يمكن للكائنات الحية أن تعيش فيها على سطح هذا الكوكب.

يتسم كريس ماكاي بأنه شخص ودود واجتماعي، لكنه كل عام يغامر إلى أقصى درجة ممكنة بعيدًا عن أي بشر من أجل البحث عن الحياة في أبعد الأماكن المحتمل وجود حياة فيها، وملاذه المفضل كل من سيبيريا وصحراء أتاكاما في شيلي والأودية المرتفعة في القطب الجنوبي. هذا العالِم القوي البنية المتخصص في علم الأحياء الفلكي يبحث بعناد عن الحياة في الأماكن الباردة والقاحلة؛ لأنه يريد أن يجد صورًا مناظِرةً للمريخ على الأرض، فهو يريد أن يعرف ما تخبرنا به حدود الحياة على الأرض عن أفضل استراتيجيات العثور على أشكال الحياة على الكوكب الأحمر.

ينطلق الفريق الذي يعمل مع ماكاي سنويًّا إلى مدينة أنتوفاجاستا الساحلية شمال شيلي ويقودون سيارتهم لساعات عدة وصولًا إلى سهل مرتفع يحظى بحماية مزدوجة من المطر؛ إذ تحميه الجبال الساحلية الواقعة غربًا والقمم البركانية لجبال الأنديز شرقًا. وبعد مرورهم بقرية يانجاي المهجورة يبدو المشهد قاحلًا تمامًا، وأشعة الشمس تلفح الصخور الخشنة والأهوار الجافة. ثمة أماكن لم يُسجَّل بها أي سقوط للأمطار قط، ومع ذلك، لو نظرت عن كثب فستجد حياة؛ بقعًا من الأشنة ومناطق متفرقة تكسوها نباتات الصحراء، بل توجد حتى حشرات صغيرة تعدو مسرعة في الرمال. لكن بالمثابرة الكبيرة، توصل ماكاي إلى عدة أماكن قاحلة بحق. وعن هذا يعلق قائلًا: «في أكثر أجزاء صحراء أتاكاما جفافًا وجدنا أنه لو هبطت مركبة «فايكنج» هناك بدلًا من أن تهبط على كوكب المريخ وأجرت التجارب نفسها بالضبط لكان البحث قد توقف.»[٧]



شكل ٥-٢: حين يتعرض محلول مائي يحوي مركب البيروفات — ذا الأهمية الكبيرة في الكيمياء الحيوية — لدرجة حرارة وضغط مرتفعين، كما هو معتاد في الشقوق الحرارية المائية، تتشكل أغشية وتنتظم تلقائيًّا على شكل حاويات تشبه الخلايا. (Robert Hazen and David Deamer, NASA Astrobiology Institute and Carnegie Institution of Washington)

في الوقت ذاته، تفضِّل ديانا نورثاب وفريقها البحث عن أشكال الحياة في الأماكن المظلمة والضيقة، وهم لا يمانعون التعرض للوحل اللزج والغازات السامة. تعمل ديانا إخصائية ميكروبيولوجي، وهي من مستكشفي الكهوف، وقد اكتشفت حياة وافرة على عمق ٣٠٠ متر تحت السطح في الظلام الدامس. شأن قاع المحيط، ليست الكهوف أماكن معزولة تمامًا؛ إذ تجد بعض المواد العضوية والمياه سبيلها إليها. والعديد من الجراثيم التي تجدها ديانا من العتائق، وهي أقرب الفروع إلى جذر شجرة الحياة. ذلك يجعلها من الأمثلة الحديثة لأول أشكال الحياة على كوكب الأرض.

في المكسيك، تدخل نورثاب وزملاؤها إلى عالم غريب تعيش فيه الكائنات على كبريتيد الهيدروجين والمواد الكيميائية المؤذية الأخرى. تقول: «بعض الكائنات التي أراها لها زوائد طويلة؛ تبدو كحيوانات منوية عملاقة، وبعضها يبدو كحبال مجدولة. إنها مثيرة للاهتمام حقًّا. والأشياء التي تنتجها مذهلة على نحو لا يصدق، يمكنني قول الكثير

عن المادة اللزجة الزرقاء والكرات اللزجة و«مستعمرات كائنات البيئات القاسية»، وهي الرواسب الكلسية البكتيرية اللزجة الموجودة في كهف بيا لوث.» لكن الأمر لا يخلو من المخاطر؛ ففي حديثها عن هذا الكهف، وهو مكانها المفضل، تسترجع ذكرياتها قائلةً: «يوجد ثاني أكسيد الكربون بمستويات عالية، وهناك فورمالدهيد وثاني أكسيد الكبريت وأشياء أخرى لا تحمينا منها أقنعتنا. وبالطبع يمكن لكبريتيد الهيدروجين أن يفتك بك في ثوانٍ قليلة.»[8]

تعيش كائنات البيئات القاسية في درجات حرارة أعلى من نقطة الغليان ودرجات أقل من درجة حرارة تجمد الماء، وفي ماء شديد الملوحة يترسب منه الملح، وتعيش في بيئات شديدة الحمضية وأخرى شديدة القاعدية. يمكن لهذه الميكروبات أن تعيش فوق قمة أكثر الجبال ارتفاعًا أو في أخدود في أعماق المحيط، وتتحمل ضغطًا مقداره ألف ضغط جوي. بعضها يمكنه أن يعيش داخل إحدى الصخور، والبعض الآخر يمكن أن يظل في حالة جفاف وتجمد لعشرات الآلاف من الأعوام. بل يوجد نوع من البكتيريا يمكنه تحمل جرعة إشعاع تفوق بألف ضعف الجرعة القادرة على الفتك بأي بشري سريعًا. بعض الميكروبات تحصد طاقتها من الميثان والكبريت والحديد والكادميوم وحتى الزرنيخ. وهي تقوم بذلك عن طريق تطوير استراتيجيات كيميائية حيوية لحماية آلية التكاثر وتخزين المعلومات في الخلية.

مثل هذه الكائنات الاستثنائية تخبرنا بأن المحيط الحيوي شديد التغلغل والقوة. وباكتشافنا أن الحياة «تملأ» الغطاء البيئي للأرض يمكننا أن نستنبط أنه لو جُعلت تلك الحدود المادية أكثر اتساعًا لأمكن للحياة أن تتكيف مع النطاق الجديد. وسيكون الاستنتاج التالي على هذا هو أن الحياة تشكَّلت، وأنها تزدهر حاليًّا، في مجموعة من البيئات المتنوعة والمتطرفة على نحو مماثل في جميع أنحاء الكون.

(١-٤) المحيط الحيوي الظلي

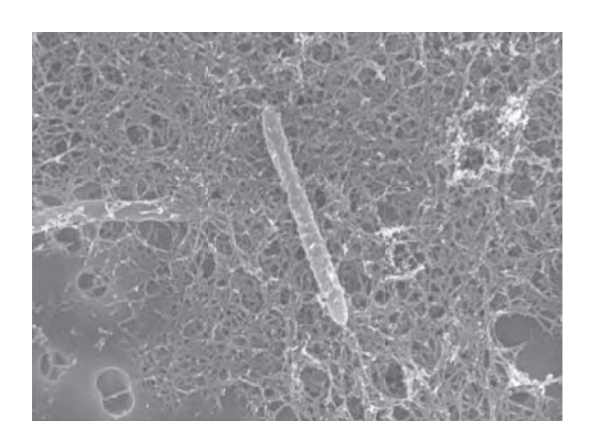
تفوق الميكروباتُ النباتاتِ والحيواناتِ ليس في عدد الأفراد وحسب، بل في عدد الأنواع أيضًا، وتبخس الأرقام بشدة قدر هيمنتها على المحيط الحيوي؛ لأن نسبة يسيرة للغاية منها فقط هي القادرة على أن تنمو في «الأسر». فنسبة ١٪ منها فقط هي التي يمكن استنباتها من الميكروبات في أي عينة من التربة أو الماء بواسطة التقنيات المعملية؛ بسبب

ارتباطها الحميم بنظمها البيئية الفريدة، فالأمر كما لو أننا أخذنا أحد أفراد قبيلة البانتو أو صياد من الإسكيمو ثم ذهبنا به إلى مانهاتن وقلنا له: «اهتم بشئونك!»

رفعت التكنولوجيا حجاب الجهل عن الطبيعة الدقيقة لعالم الميكروبات. وقد تحايل ستيفن كويك، الباحث بمعهد هاوارد هيوز الطبي، على جمود التجهيزات المعملية القياسية بأن اختزل معملًا جينيًّا آليًّا كاملًا إلى حجم يماثل طابع البريد.[٩] تقوم أساليبه المعتمدة على علم الموائع الدقيق بعزل الكائن في كمية من السائل تصل إلى نانولتر، وفي هذا المقدار الضئيل يُكبِّر المادة الوراثية لخلية واحدة ويحللها، وبهذا لا يحتاج إلى استخدام أساليب الاستنبات المعملية التقليدية. وفي غضون عامين فحسب جرى استخدام هذا الأسلوب لدراسة العديد من أنواع الميكروبات التي تعيش في أفواهنا البالغ عددها ٧٠٠ نوع. ثمة معمل مصغر آخر قادر على اختبار ٩ آلاف شكل متباين من جين واحد يظهر في كل أنواع البكتيريا، وقد اسْتُخدم ليوضِّح وجود ما يزيد عن ١٨٠٠ نوع من البكتيريا في الهواء. إن المحيط الحيوي يمتد لأعلى مثلما يمتد لأسفل.

نحن نعلم أن الحياة موزعة بسخاء على سطح القشرة الأرضية، وتمتد إلى أماكن تكون فيها القشرة الأرضية مغمورة بالماء، لكن ماذا عن أكثر الأماكن عمقًا؟ كانت كائنات البيئات القاسية التي تعيش داخل الصخور أو بين البلورات المعدنية معروفة لعقود. وهي تستخدم المصادر الكيميائية للطاقة؛ لذا لا تحتاج إلى ضوء الشمس. نحن نعلم القليل للغاية عن الحياة تحت القشرة الأرضية؛ لأن شق الحُفر صعب للغاية؛ استغرق الروس ١٥ عامًا للوصول فحسب إلى ٢٤ كيلومترًا تحت الأرض في مشروع بئر كولا العميق.

تعد بكتيريا ديسولفورودس أوداكسيفاتور مثالًا لما قد نجده بالأعماق (الشكل ٥-٣). اكتُشف هذا النوع من البكتيريا على عمق ٢,٧٣ كيلومتر أسفل منجم للذهب في جنوب أفريقيا، وسمي باسم رسالةٍ فَكَّ شفرتها بطل إحدى الروايات الشهيرة لجول فيرن: «انزل، أيها المسافر المقدام، وابلغ مركز الأرض.» تستمد بكتيريا ديسولفورودس أوداكسيفاتور طاقتها من تحلل اليورانيوم، وهي تظل حية في الظلام الدامس دون أكسجين وعند درجة حرارة تبلغ ٦٠ درجة مئوية (١٤٠ فهرنهايت). هي الكائن الوحيد الذي عُثر عليه يعيش في عزلة تامة؛ إذ لديه كل ما يحتاج إليه لكي يأكل ويتحرك ويحمي نفسه من الفيروسات ويظل على قيد الحياة في ظروف سيئة التغذية، وكل هذا وعدد جيناته لا يتجاوز ٢٢٠٠ جين. إنه نظام بيئي لكائن وحيد مختفٍ عن ضجيج عالم السطح.



شكل ٥-٣: تعيش بكتيريا ديسولفورودس أوداكسيفاتور المذهلة عصوية الشكل على عمق أميال تحت الأرض في الظلام الدامس، وتستمد طاقتها من نواتج تحلل اليورانيوم، وتصنع المادة العضوية من الصخور المحيطة بها. وقد اصطفت جيناتها من العتائق القديمة لكي تحمي نفسها من الفيروسات. (NASA Astrobiology Institute and the Indiana–Princeton–Tennessee Team)

في عام ٢٠٠٢، أخذ عالم البيولوجيا الأرضية جون باركز عينات طينية من عمق مشابه أسفل قاع البحر عند ساحل نيوفاوندلاند. احتوت كل عينة على عدد من بدائيات النوى البسيطة. نصف هذه الخلايا كان حيًّا، لكن معدل انقسام خلاياها كان بطيئًا على نحو لا يصدق، وربما يحدث مرة واحدة كل قرن؛ ففي بيئة بها القليل من الحيوانات المفترسة والقليل من الغذاء تنخفض وتيرة الحياة. خمن جون أن عمر هذه الكائنات قد يبلغ ملايين الأعوام، بل ربما تمثل خطًّا متصلًا إلى بداية الحياة؛ لأن هذا المكان من الأماكن التي يمكنها الصمود أمام الارتطامات التي تُحدثها النيازك والكويكبات.

استخدم مشروعٌ آخر، أُطلق عليه اسم «برنامج حفر المحيطات»، عيناتٍ لُبيَّة من أعماق البحار من جميع أنحاء العالم للاستدلال على وجود كم مذهل يصل إلى ٨١ مليار طن متري من الكائنات الميكروبية في المحيط الحيوي العميق. توجد البكتيريا بالقرب من السطح، لكن حوالي ٩٠٪ من هذا المحيط الحيوي الخفي تتكون من العتائق والسلالات البدائية للأشكال الأولى للحياة. في هذه البيئة ثمة «جوعى» يعيشون على البقايا الحفرية

للنباتات التي هضمتها أجيال من الكائنات المختلفة. والمنطقة الحيوية الداخلية تنافس المحيط الحيوي التقليدي للسطح في الحجم.

ليست كارول كليلاند قلقة بشأن الميكروبات التي يصعب الحفر للوصول إليها أو يصعب تعيين خرائطها الوراثية، لكنها قلقة بشأن أشكال الحياة التي هي غريبة للغاية لدرجة لا تتيح لنا إدراكها. ولأن كارول فيلسوفة بجامعة كولورادو فقد صاغت عبارة «المحيط الحيوي الظلي» في عام ٢٠٠٥، وألفت كتابًا عن مشكلة تحديد أشكال الحياة والتعرف عليها. إن الشغل الشاغل لها هو وجود «غلاف حيوي ميكروبي يختلف للغاية من حيث التركيب الكيميائي والجزيئي عن الحياة كما نعرفها، بما لا يجعله في وضع تنافس مباشر مع الحياة المألوفة؛ فلن تستطيع الحياة المألوفة إخضاعه لعملية الأيض، ويشغل عددًا من المكامن الإيكولوجية التي كان يأهلها عدد قليل للغاية من الكائنات المألوفة».[١٠]

يعد المحيط الحيوي الظلي فرضية مثيرة للجدل، لكن كليلاند جادة تمامًا حين تقول إننا قد نتشارك كوكبنا مع أشكال حياتية غريبة. إن الأساليب التي نتبعها مصمَّمة للتحقق من الحياة كما نعرفها، وليس الحياة كما «لا» نعرفها. على سبيل المثال، سوف يستخدم جهاز الاستشعار البيولوجي على الأرض (الذي سيُستخدم في نهاية المطاف على كوكب المريخ) تفاعل بلمرة تسلسليًّا، وهي الطريقة القياسية لتكبير الشذرات الصغيرة من الحمض النووي. ومن ثمَّ، لن يسجل هذا الجهاز الكائن الذي لا يستخدم الأحماض النووية لتخزين المعلومات ونقلها على أنه كائن حي. وقد تعجز معدات الاختبار القياسية أيضًا عن كشف الحياة البيولوجية التي لا تعتمد على الكربون أو الكائن الحي الذي يستخدم مصادر طاقة غريبة، فنحن نبحث عما نعلم فقط.

(٢) جايا

(٢-١) دوائر الحياة والصخور

الكثيرون يرون أن الصخرة ما هي إلا صخرة، لكن أي زائر لأحد متاحف المعادن رأى التنوع الأخاذ والجمال الملون للبيئة الأرضية. يبين بحث نُشر عام ٢٠٠٨ أن هذا التنوع يرتبط على نحو جوهري بوجود الحياة وتطورها، فثمة اثنا عشر معدنًا بدائيًّا فحسب في حبيبات الغبار النجمي التي اجتمعت معًا بفعل الجاذبية لتشكِّل الأرض

والكواكب الداخلية الأخرى. وصور التنوع في درجة الحرارة والضغط مطلوبة لتشكيل أنواع إضافية من المعادن. تحوي الأجرام الصغيرة من المجموعة الشمسية، كالأقمار والكويكبات، حوالي ٦٠ معدنًا مختلفًا. وتشير التقديرات أيضًا إلى أن الكواكب ذات البراكين وتلك التي تحوي قدرًا من المياه أمثال كوكبي الزهرة والمريخ تشتمل على ٥٠٠ نوع من المعادن في الصخور الموجودة على سطحها. ويحتوي كوكب الأرض على مكون إضافي وهو تكتونيات الصفائح، حيث عملت الحرارة والحركة الدءوبة في «المطبخ» الداخلي على طهي إجمالي ١٤٠٠ نوع من المعادن تقريبًا.[١١]

مع ذلك، فكوكب الأرض هو الوحيد ضمن أجرام المجموعة الشمسية الذي يستضيف حياة، وقد أدت عملياته البيولوجية إلى زيادة المعادن الموجودة بثلاثة أضعاف ليصل عددها إلى ٤٣٠٠ معدن، فالطحالب المجهرية أنتجت الأكسجين في الغلاف الجوي، وتحلل الصخور المؤكسدة أنتج ركائز المعادن الفلزية كالحديد والنحاس وغيرها، وسهَّلت الميكروبات والنباتات من نشوء المعادن الصلصالية وحولت الهياكل العظمية والأصداف إلى معادن مثل الكالسيت الذي يندر وجوده على كوكب يفتقر إلى الحياة. وطيلة ٣ مليارات عام تقريبًا تطورت جيولوجيا الكوكب بالتوازي مع كائناته الحية، فتأثيرات الحياة على الصخور عميقة ومتغلغلة للغاية، حتى إن علماء الفلك يأملون في استخدام جهاز يعمل عن بعد لاستشعار المعادن على الأقمار والكواكب الأخرى لرصد الحياة البيولوجية خارج الأرض.

ثمة ارتباط متداخل بين الصخور والحياة، كنسيج القماش، لكن الجيولوجيا والأحياء مرتبطان على نطاق أوسع بكثير. يمكننا تبين هذا الارتباط عن طريق تتبع التفاعلات والمعاملات بين الأطراف الثلاثة الرئيسية: الأكسجين والكربون والنيتروجين. تحتل هذه العناصر المراتب الثالثة والرابعة والسادسة بين أكثر العناصر وفرةً في الكون، بعد كلٍّ من غاز الهيدروجين وغاز الهيليوم النبيل (يحتل النيون، ذلك المتطفل المضيء، المرتبة الخامسة). الكربون هو «روح» الحياة، وهو مكعب الليجو الكوني الذي يبني التعقيد، أما الأكسجين فهو الطرف المتفاعل والمتطاير، الذي يلتصق بالعناصر الأخرى ليكوِّن الصخور ويسبب صدأ المعادن ويسبب الإجهاد التأكسدي للكثير من الكائنات، أما النيتروجين فهو القريب اللامبالي للأكسجين، وهو ضروري للظواهر والعمليات البيولوجية، لكنه لا يشارك في اللعبة ما لم تتم رشوته بكم كبير من الطاقة.

يشارك الكربون في دورتين: دورة جيولوجية تمتد لملايين الأعوام ودورة بيولوجية يمكن أن تمتد إلى ما يصل إلى ألف عام، ويمكن أن تستغرق نذرًا يسيرًا من الوقت لا

يتجاوز أيامًا قليلة. يذوب ثاني أكسيد الكربون في ماء البحر لتكوين حمض ضعيف يتحد مع الكالسيوم والماغنسيوم لتشكيل الكربونات، وهي عملية يطلق عليها اسم التجوية. تجرف التعرية الكربونات إلى المحيط حيث تستقر في القاع. تتسرب هذه المادة إلى وشاح القشرة مع انزلاق كل صفيحة صخرية تحت الأخرى. تكتمل الدورة حين يتحرر ثاني أكسيد الكربون في حرارة الوشاح ويُقذف به في الغلاف الجوي بفعل البراكين. ثمة مخزون هائل من الكربون في القشرة الأرضية والمحيطات، وهو ما يمنح استقرارًا طويل الأمد لمحتوى ثاني أكسيد الكربون بالغلاف الجوي. الأمر أشبه بمقامر لديه الكثير من «فيشات» الكربون، لكنه لا يستخدمها إلا قليلًا من حين لآخر (انظر أيضًا الشكل ٢-٦).

يزيد تركيز الكربون في الكائنات الحية مائة مرة عنه في قشرة الأرض، فالحياة تستخلص الكربون من البيئة وتستخدم النباتات والطحالب الطاقة الضوئية في تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات. تستخلص النباتات والحيوانات الطاقة من «وقود» الكربوهيدرات وتزفر ثاني أكسيد الكربون مرة أخرى إلى الغلاف الجوي. ثمة كمية إضافية من ثاني أكسيد الكربون تعود إلى الغلاف مرة أخرى بسبب الحرق والتحلل. إن كمية الكربون المشاركة في الدورة البيولوجية التي تتم كل عام تزيد ألف مرة عن تلك المشاركة في الدورة الجيولوجية. الأمر أشبه بمقامر يراهن بجزء كبير من فيشاته في كل مرة.

هناك أيضًا تخزين طويل الأجل للكربون عن طريق الحياة البيولوجية، فالحياة النباتية على اليابسة تستخلص ثاني أكسيد الكربون من الهواء حين تتعرض التربة للتجوية. وأثناء الأوقات التي تزيد فيها عملية التمثيل الضوئي عن عملية التنفس تتراكم المادة العضوية ببطء مكوِّنة مخزونًا من الغاز والبترول. وفي المحيطات، يمر بعض الكربون الذي تمتصه العوالق خلال السلسلة الغذائية إلى الأصداف البحرية التي تستقر في قاع المحيط لتشكِّل الرواسب.

إن مشكلتنا الحالية مع الاحترار العالمي تنبع من حقيقة أننا نعكس بسرعة أداء هاتين العمليتين عن طريق قطع أشجار الغابات وحرقها، علاوةً على أننا نستهلك مخزوننا من الوقود الحفري بنهم، فالدورة لا تسير بتوازن؛ لأن معدل عودة الكربون إلى الغلاف يزيد عن معدل امتصاصه. من المؤكد تقريبًا أن النشاط البشري تسبَّب في ازدياد مستوى ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٢٠٪ في القرن الماضي، بحيث زادت النسبة عن أي وقت مضى طيلة النصف مليون عام الماضية. تفوق هذه الزيادة المعدل الطبيعي بعشرة آلاف

ضعف، ولا يمكن لآلية ضبط الحرارة في كوكب الأرض أن تجاريها. وبالاستمرار في تشبيه المقامرة الذي بدأناه، فنحن نسحب من مدخراتنا من أجل اللعب، ونخسر منها الكثير، وننخرط في حالة من الهياج والضيق الشديد بشأن ذلك.

(٢-٢) الربة البدائية

جيمس لافلوك عالم مستقل خجول، لم يعتزم قط أن تأخذ فكرته طابعًا أسطوريًّا وتجد طريقها إلى الثقافة الشعبية. عندما كان يعيش في قرية صغيرة بمقاطعة ويلتشير كان من بين جيرانه الروائي ويليام جولدينج، صاحب رواية «أمير الذباب» الشهيرة. في إحدى مرات التنزه التي ذهبا فيها معًا إلى مكتب البريد، اقترح عليه جولدينج أن يُطلق اسم جايا على نظريته، وعلق هذا الاسم بذهنه. ورد في شعر هسيود المنظوم في القرن السابع قبل الميلاد اسم جايا بوصفها الربة الأولى؛ إذ إنها كانت أول مولود للربة كاوس، التي تجسد الفراغ الأصلي للفضاء. تجسد جايا الأرض. وفي اليونان القديمة كانت الأقسام التي يحلف فيها باسم جايا أكثر الأقسام إلزامًا.

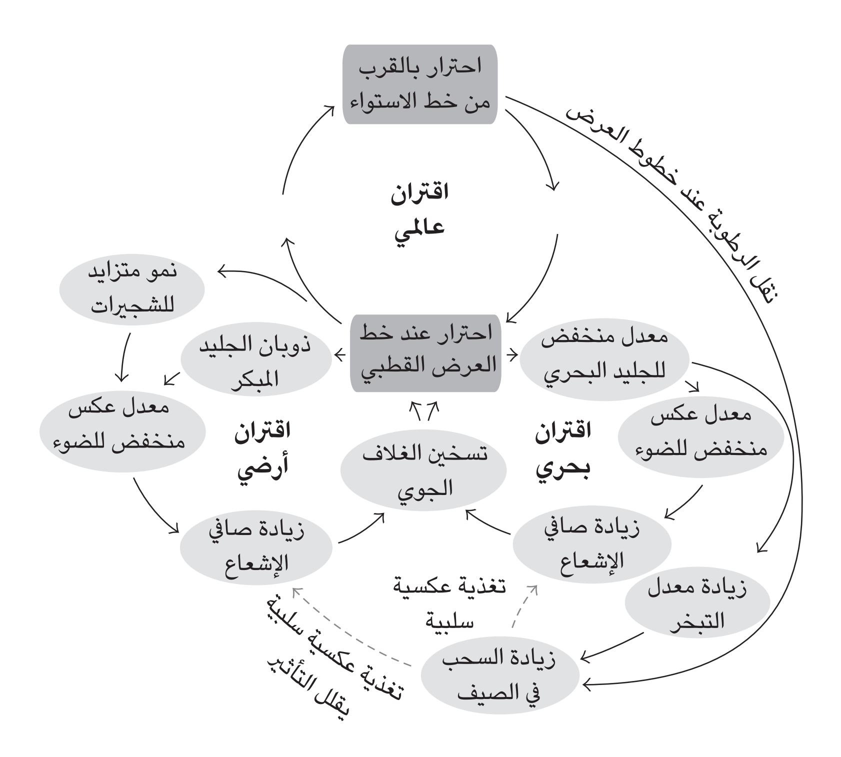
يتجلى أفضل وصف موجز للربة جايا في كلمات لافلوك نفسه الواردة هنا والمأخوذة من مقالة نشرت في صحيفة «نيتشر» عام ٢٠٠٣: «تتطور الكائنات وبيئتها المادية كنظام واحد مقترن ينشأ منه التنظيم الذاتي المستدام للمناخ والكيمياء في حالة صالحة لمعيشة أي صورة من صور الحياة النباتية والحيوانية الحالية.» وما أثار ذهول لافلوك هو ثبات درجة حرارة الأرض على مدار مليارات الأعوام، على الرغم من ازدياد الطاقة الشمسية بنسبة ٢٥٪. وقد لاحظ أيضًا أن تركيب الغلاف الجوي لا يتغير، على الرغم من وجود كمية كبيرة من الأكسجين، وهو غاز غير مستقر يتحد بسرعة مع معادن القشرة الأرضية. وأخيرًا، شعر بالحيرة من ثبات مستوى ملوحة المحيطات وعدم تجاوزها النطاق الضيق المطلوب للخلايا كي تقوم بوظيفتها، مع أن مستوى المد النهري يجب أن يزيدها إلى مستويات أعلى بكثير. خمن لافلوك وجود نظام مراقبة عالمي يتسبب في هذا الاستقرار.

ينتج تعقيد المناخ جزئيًّا عن عمليات تغذية عكسية، ففي حالة التغذية السلبية، يُخفَّف التأثير المعاد إرساله إلى أحد النظم أو يُلغى بما يؤدي إلى تقليل التغير المناخي. يعد منظِّم الحرارة مثالًا على ذلك. وفي حالة التغذية الإيجابية، يُقوَّى التأثير المعاد إرساله إلى أحد النظم بما يؤدي إلى ازدياد التغير المناخي بسرعة، وقد يخرج عن السيطرة. من أمثلة ذلك؛ التفاعل النووي المتسلسل، أو التأثير الصوتي المدوي في مكبر الصوت.

إن الرابطة التي تجمع بين الأرض والماء والهواء تسبب عددًا من حلقات التغذية العكسية. إن ارتفعت درجة حرارة السطح يزداد قدر بخار الماء المنطلق في الهواء؛ مما يزيد من غطاء السحب المنخفضة الذي يعكس مزيدًا من ضوء الشمس، مسببًا انخفاض درجة الحرارة. على الجانب الآخر، إن انخفضت درجة الحرارة قلَّ قدر بخار الماء المنطلق في الهواء، وهو ما يقلل من غطاء السحب، ومن ثم يسبِّب ارتفاع درجة الحرارة. تلك تغذية سلبية. لكن ليس الأمر بهذه البساطة؛ لأن بخار الماء يحبس الحرارة؛ لذا يؤدي ازدياد بخار الماء في الهواء إلى ازدياد درجة الحرارة، التي تعمل على تبخير مزيد من الماء، الذي يزيد بدوره من درجة الحرارة على نحو أكبر. وتلك تغذية إيجابية (الشكل ٥-٤). أي منهما يفوز؟ الأمر كله يعتمد على غطاء السحب، وهو واحد من أكثر الأشياء التي يجد العلماء صعوبة في تضمينها بصورة واقعية في النماذج الحاسوبية.

تقضي فرضية لافلوك، المؤكدة جزئيًّا وليس تفصيليًّا بالبيانات والنماذج، بأن الحياة تلعب دورًا جوهريًّا في هذه الدورات، وذلك على صورة تغذية سلبية أو اختزال لأشكال التباين. افترض أن الأرض تمر بمرحلة نشطة جيولوجيًّا تقذف فيها البراكين كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون. يُزال هذا المركَّب من الهواء عن طريق التجوية عندما يتفاعل مع المعادن في الصخور، وهي عملية تزداد سرعة بفعل حياة التربة. وحين يذوب ثاني أكسيد الكربون في ماء البحر يترسب بعضه في أصداف الكائنات الحية، ثم يُدفن في قاع البحر حين يموت الكائن. تستهلك الطحالب أيضًا ثاني أكسيد الكربون في الطبقة العلوية من المحيط وتطلق غازًا عندما تموت، وهذا الغاز يجمِّع قطرات المياه ويزيد من غطاء السحب. تلك أربع طرق مختلفة متاحة يمكن للحياة من خلالها أن تلطف من ازدياد معدل ثاني أكسيد الكربون بفعل النشاط البركاني.

حازت جايا قوة دافعة إضافية حين بدأ لافلوك العمل مع عالمة الميكروبيولوجي لين مارجوليس؛ صاحبة النظرية المقبولة على نطاق واسع التي تقضي بأن الخلية حقيقية النوى هي اتحاد تكافلي للخلايا الأولية بدائية النوى. ترى لين مارجوليس أننا إذا نظرنا لجايا من الفضاء، فسنرى أنها نظام تكافل حيوي، فالحياة توجد في علاقة تكافل مع البيئة، ونتيجة لذلك تعمل البيئة على التنظيم الذاتي لكي تبقي على الكائنات الحية. قوبلت فكرة جايا بالرفض من جانب العديد من علماء الأحياء والبيئة؛ لأن لافلوك أشار إلى الأرض على أنها كائن حي. لم يكن واضحًا قط كيف يمكن للانتخاب الطبيعي أن يقوم بوظيفته على مستوى أحد الكواكب؛ لذا ليس هذا النموذج «القوي» لجايا مقبولًا على نطاق واسع.



شكل ٥-٤: المناخ العالمي محكوم بمجموعة معقدة من دورات التغذية العكسية، وبعضها يثبط أو يقلل من التغيرات (التغذية السلبية)، والبعض الآخر يزيد أو يضخم من حجم التغيرات (التغذية الإيجابية)، ومن الصعب التنبؤ بالتأثيرات الكلية بسبب التعقيد وبسبب صعوبة قياس مدخلات كالحياة النباتية وغطاء السحب والجليد البحري، أو تضمينها في نماذج. (Hugo Alhenius, UNEP/GRID-Arendal)

ماذا سيحدث حين تمارس التغذية الإيجابية عملها بصورة قوية للغاية بحيث تزيد درجات الحرارة لدرجة تتعطل معها أجهزة ضبط الحرارة الطبيعية؟ تتسم لين مارجوليس بأنها شخصية متفائلة، وفي ذلك تقول: «جايا قوية وصلبة.» أما لافلوك فهو، على النقيض، شخص متشائم مرح، ويقول: «استمتع بالحياة بينما يمكنك ذلك؛ لأنك إن كنت محظوظًا فسيمر عشرون عامًا قبل أن تصبح الحياة مشكلة مثار جدل عام.»

وهو يعصف بأكثر الأفكار رواجًا لحماية البيئة والحفاظ عليها، واحدة تلو الأخرى. هل الحل في معادلة الكربون؟ إنها مجرد مزحة. هل الحل في دفع الأموال لزراعة المزيد من الأشجار؟ ربما يزيد هذا الأمور سوءًا. هل الحل في إعادة التدوير؟ من المؤكد أن في ذلك إهدارًا للوقت والطاقة. هل الحل في انتهاج أسلوب حياة يعتمد على الطبيعة؟ هذه عبارة جوفاء. يعتقد لافلوك أن الاحترار العالمي أمر لا سبيل إلى عكسه، وما من شيء يمكنه أن يمنع تحول أجزاء كبيرة من الكوكب إلى مناطق شديدة السخونة يستحيل العيش عليها، أو انغمار أجزاء أخرى تحت الماء، أو حدوث هجرات جماعية ومجاعات وأوبئة.[١٢]

(٢-٣) الأرض الباردة

في مواجهة هذا المشهد المظلم، يجدر بنا أن نتذكر أن الحياة استطاعت اجتياز مواقف أسوأ بكثير مما سنمر به، حتى في ظل أسوأ سيناريوهات الاحترار. ترجع شدة الاحترار العالمي الحالي إلى أنه ناتج عن عدة أنواع من التغذية العكسية الإيجابية، فهناك الجليد الذائب الذي يقلل من قدر ضوء الشمس المنعكس. وثمة قدر أكبر من بخار الماء منبعث من المحيطات مما يزيد من قدر الحرارة المحتبسة، يضاف إلى ذلك ذوبان غطاء التندرا الذي يسبب انبعاث الميثان، وهو غاز أساسي من غازات الدفيئة. وثمة عامل آخر وهو التصحر، الذي يقلل من حجم الحياة النباتية التي تختزن ثاني أكسيد الكربون.

لكن ما يرتفع يمكن أن ينخفض. تصور معي ما يأتي: صفحة بيضاء تمتد إلى الأفق فوق ما كان محيطًا في يوم من الأيام؛ كتلة جليدية يصل سمكها إلى ألف قدم وتسجل درجة الحرارة −٣٢ مئوية (−٢٥ فهرنهايت)، صفائح جليدية تلتقي معًا عند خط الاستواء، قارات تبخرت منها المياه والجليد، وتوقفت الأمطار وانخفض معدل التجوية إلى حدٍّ شديد. المشهد ككل مقفر؛ لا شيء على الإطلاق سوى صخرة قاحلة بنية اللون. هذا ما سنراه من حال الأرض لو سافرنا بالزمن ٧٠٠ مليون عام إلى الماضي.

يُطلَق على الأرض على هذا الحال اسم «الكرة الأرضية الثلجية»، ومع أن العلماء ليسوا على يقين تام مما أدى إلى حدوثه، ثمة سبل يمكن للتغذية السلبية من خلالها أن تدفع الكوكب إلى حالة من التجمد العميق. في ذلك الوقت، وقبل انفصال القارات، كانت الكتلة الاستوائية الكبيرة تمتص مزيدًا من ضوء الشمس، ويساهم معدل التجوية المرتفع في إزالة كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. ومع برودة الغطاء الجليدي ونمو الكتلة الجليدية، عكس الغطاء الجليدي المتزايد مزيدًا من ضوء

الشمس، ليزيد من انخفاض درجة الحرارة. وردتنا الأدلة على وجود الكرة الأرضية الثلجية من الرواسب الجليدية التي شوهدت عند خطوط العرض الاستوائية ومجموعة من التكوينات الرسوبية المرتبطة عادة بالمحيطات المغطاة بالجليد.[١٣] تعرضت الحياة لإجهاد شديد في هذه الفترة الزمنية الباردة؛ لأن سطح الأرض كان جافًّا وقاحلًا، وكانت حياة المحيطات محرومة في الأغلب من آلية التمثيل الضوئي.

كيف نجونا؟ مع أن الدورة المائية الطبيعية كانت تعمل على نحو هزيل، فالمحرك البركاني للأرض كان يعمل على نحو طبيعي. لقد زاد ثاني أكسيد الكربون الناتج من البراكين من درجة الحرارة على نحو يسمح بأن تنشأ الشقوق والصدوع في الكتلة الجليدية. أدى هذا إلى انبعاث غاز الميثان — أحد غازات الدفيئة الأساسية — الذي أنتجته الحياة الميكروبية في المحيطات. ومع تآكل الجليد ألقت التجوية في المحيط بشحنات من العناصر الغذائية كالفوسفور، لتتسبب في نمو متدفق للبكتيريا الزرقاء. بدأت المناطق المائية الجديدة المظلمة تمتص مزيدًا من ضوء الشمس، وازدادت سرعة آلية التسخين. وبواسطة كل هذا التعزيز الإيجابي تحررت الأرض من القبضة الجليدية خلال وقت قصير لا يتجاوز الألف عام.

أفسح الافتراض المبكر بأن الأرض كانت مغطاة بالجليد بأكملها ككرة بلياردو متجمدة المجال لصورة أكثر تعقيدًا. في هذه الصورة تظهر العصور الجليدية وموجات من التجلد في فترة تتراوح من ٧٩٠ إلى ٦٣٠ مليون عام، وفيها أدت أشد الأحداث الثلاثة وطأة إلى تغطية معظم الكوكب بالجليد. ثمة أدلة تشير إلى مرور الأرض بحالة «الكرة الأرضية الثلجية» منذ ٢٫٢ إلى ٢٫٣ مليار عام، أثناء حقبة بروتزرويك القديمة حين تشكلت القارات لأول مرة. ومن المدهش أن هاتين المرحلتين الجليديتين — اللتين تعرضت فيهما الحياة البيولوجية لإجهاد شديد — تلاهما ارتفاع كبير في مستوى الأكسجين بالغلاف الجوي ثم ظهور الحياة المعقدة في المحيطات.

(٢-٤) المؤشرات الحيوية

إن النشاط البركاني وتكتونيات الصفائح هي القوى التي تبقي على الكوكب نشطًا، علاوة على أنها تساهم في التنوع المعدني كما سبق ورأينا، فالأقمار والكواكب الصغيرة ليست لها كتلة كافية تمكنها من الاحتفاظ بغلاف جوي أو الإبقاء على لب مصهور يمكنه أن يحرك قشرة متغيرة، لذا يشك علماء الفلك أن هذه الأقمار والكواكب ميتة من

الناحية البيولوجية والجيولوجية على حدٍّ سواء. هنا نعود إلى نقطة الأصل التي طرحنا فيها رؤية جيمس لافلوك حين كان يعمل في مهمة المركبة «فايكنج». لقد توصل إلى أنه ليس من الضروري إرسال سفينة فضائية إلى المريخ، فكل ما عليك فعله هو معرفة هل الغلاف الجوي للمريخ يمر بحالة اتزان كيميائي أم لا. وقد كان كذلك؛ لذا استنتج لافلوك أن كوكب المريخ كوكب ميت، فالحراك الذي يشير إلى اقتران الأحياء والجيولوجيا مفقود.

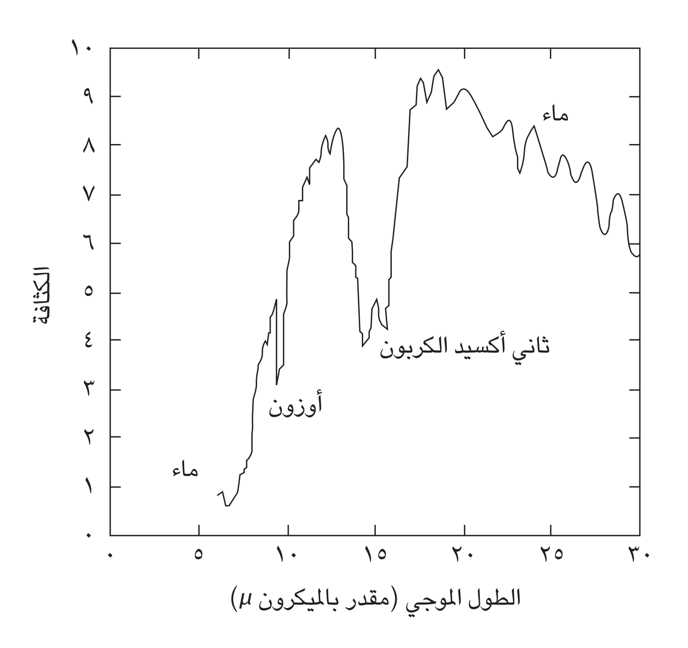
ثمة طريقة مفيدة لاستيعاب مدى صمود الأغلفة الحيوية، وهي تخيُّل كوكب الأرض كما يُنظر إليه من بعيد. ما الإشارات التي تشير إلى أنه كوكب حي (بعيدًا عن إقحام البشر والحضارة الذي وقع حديثًا)؟ يُطلق علماء الفلك على هذه الإشارات المميزة اسم «المؤشرات الحيوية»، وهي جوهرية لتحديد أفضل استراتيجيات البحث عن الحياة في عدد الكواكب الهائل الموجود خارج المجموعة الشمسية.

حين كنت أبلغ من العمر ٢٥ عامًا وأؤدي دراسات ما بعد الدكتوراه في جامعة هاواي، تكلم معي معلمي على انفراد. كان مديرًا لأحد المراصد الفلكية، وضليعًا للغاية في مجاله، واستطاع أن يصل إلى أعلى المراتب الوظيفية. كان إريك أحد أفراد فريق العمل بمركبة الفضاء فايكنج، وله غرة شعر شقراء طويلة، وكان رجلًا أمينًا إلى أبعد حد. قال لي إنه يجدر بي أن أستمتع بحياتي. قال لي إنني، كطالب دراسات عليا، لم أتعلم الكثير، وثمة أطروحة عليَّ إعدادها، وإن حصلت على وظيفة بهيئة التدريس فسأنشغل بأعمال اللجان وسيكون عليَّ أن أكتب طلبات المنح لأحصل على تمويل لأبحاثي. وفي حياة العلم، هذا أقصى ما يمكن تحقيقه، حسب قوله.

تعيش ليزا كالتنيجر مرحلة ناجحة للغاية من حياتها؛ لقد حصلت على الدكتوراه من مرصد سميثونيان للفيزياء الفلكية، وتعمل محاضرة بقسم الفلك بجامعة هارفارد القريبة من المرصد. وهي تذهب إلى الاجتماعات وتلقي المحاضرات في جميع أنحاء العالم: أسبن وسانتا كلارا، وليس هوتشيس، وبرلين، وفراسكاتي، وفانكوفر، وسانتياجو. هي مواطنة نمساوية تتميز بطول القامة ومظهرها الأخاذ ولهجتها الرقيقة المميزة لسكان وسط أوروبا، وهي تحب الرقص وركوب الخيل متى أتيح لها وقت فراغ. عادةً ما تحب أن تفكر بعمق في كيفية التحقق من وجود كواكب في المجموعات الشمسية الأخرى، وكيف لنا أن نعرف إن كانت تحمل حياة أم لا.

حين يُنظر إلى أحد الكواكب من مسافة بعيدة للغاية، يصغر حجمه ليماثل النقطة، ولا بد من الاستدلال على الجوانب المعقدة للجيولوجيا وكيمياء الغلاف الجوي والأحياء

من المعلومات القاصرة التي يحملها طيف هذا الكوكب. هذا المنهج يُنسب إلى كارل ساجان، الذي كتب بحثًا عام ١٩٩٣ وحلل فيه طيفًا للأرض سجله المسبار جاليليو خلال رحلته إلى الكواكب الخارجية (الشكل ٥-٥). آمن ساجان أن وجود الأكسجين والميثان بالإضافة إلى صبغة تمتص اللون الأحمر ليس لها أصل معدني قد يشير بشدة إلى وجود حياة بيولوجية. ونقَّحت كالتنيجر هذا العمل وتتبعت التغيرات الدقيقة التي تطرأ على المؤشرات الحيوية للأرض مع تطور الحياة.



شكل ٥-٥: طيف كوكب صالح للحياة. هذا ما يبدو عليه كوكب الأرض كما رصدته مركبة «مارس جلوبال سيرفيور» وهي تبتعد عنه. تظهر التركيزات الضئيلة من ثاني أكسيد الكربون بوضوح، وكذلك الماء، لكن أفضل مؤشر حيوي هو الأكسجين الذي يظهر في هذا الطيف للأشعة تحت الحمراء على صورة امتصاص قوي من الأوزون الموجود في الطبقة العلوية من الغلاف الجوي. (NASA/Jet Propulsion Laboratory)

أول صورة رسمتها لنا هي الحقبة صفر؛ التي ترجع إلى ٣٫٩ مليارات عام مضت، وهو الوقت الذي ربما ظهرت فيه الحياة للنور. فيها يتكون الغلاف الجوي المضطرب المشبع بالبخار من النيتروجين وكبريتيد الهيدروجين وكم هائل من ثاني أكسيد الكربون الذي يبقي على الكوكب دافئًا على الرغم من الشمس المعتمة. توجد الحياة في جيوب، لكن عليها أن تتحمل القصف الشديد، لذا فهي لا تخلِّف أي آثار واسعة النطاق. وتشهد الحقبة الأولى؛ منذ حوالي ٣٫٥ مليارات عام، ظهور البكتيريا بدائية النوى التي تبدأ في تغيير الغلاف الجوي عن طريق استهلاك ثاني أكسيد الكربون وإطلاق الميثان. وفي تلك الحقبة يوجد قدر هائل من الميثان يفوق ما في غلافنا الجوي اليوم بمئات المرات، وهذا يجعل من الميثان مؤشرًا حيويًّا ممتازًا للمرحلة الأولى من تطور أي كوكب مماثل للأرض.[١٤]

أما الحقبة الثانية؛ منذ ٢٫٤ مليار عام، ففيها تتعلم البكتيريا الزرقاء الحيلة المذهلة لتحويل الماء وثاني أكسيد الكربون والضوء إلى أكسجين وسكر. تتميز عملية التمثيل الضوئي بأنها فعالة للغاية، لكن لو تطورت على نحو سريع للغاية فقد تتسبب في تسمم الميكروبات التي تجريها. ولحسن الحظ هناك مخزون بسيط من الأكسجين ناتج عن تفاعل الأشعة فوق البنفسجية مع الثلج الجليدي، وهو ما يكفي لتسهيل تطور الإنزيمات التي تحمي من الغاز المسبب للتآكل. وهكذا تواصل «ثورة» الأكسجين مسيرتها، لكن الأمر لا يخلو من جانب سلبي؛ إذ يستهلك الأكسجين الميثان، ويدفعنا فَقْد هذا النوع من غازات الدفيئة نحو سيناريو «الكرة الأرضية الثلجية». وبعد التعافي، تشهد الحقبة الثالثة كلًّا من الكائنات متعددة الخلايا وظهور الخلايا القادرة على استنشاق الأكسجين كما نفعل.

أثناء الحقبة الرابعة؛ منذ ٨٠٠ مليون عام، يرتفع الأكسجين الموجود في الغلاف الجوي مرة أخرى ليصل إلى مستوياته الحالية، ويحدث انفجار العصر الكمبري للحياة في المحيطات بعد أن تكون سلسلة أحداث «الكرة الأرضية الثلجية» قد أفسحت المجال للعديد من المواضع البيئية الجديدة. تنخفض مستويات ثاني أكسيد الكربون. تظهر المستنقعات ويثور عدد قليل من البراكين، وتظهر اليابسة على صورة قارة كبرى واحدة تحيط بها البحار الضحلة. وأخيرًا في الحقبة الخامسة؛ منذ ٣٠٠ مليون عام، تنتقل الحياة إلى اليابسة ويصل الغلاف الجوي إلى تركيبه الحالي. وفي هذا الامتداد الزمني الأخير تنتشر الحياة النباتية الخضراء بدرجة تكفي للظهور على مقياس الطيف كعلامة دالة على وجود الكلوروفيل، لكن بخلاف ذلك يعد الأكسجين المؤشر الحيوي الرئيسي.

تعرف كالتنيجر أن البراعة التكنولوجية للبشر ما هي إلا لمحة عابرة عبر زمن ممتد لأربعة مليارات عام من التطور. تقول: «يؤسفني أن أذكر أن العلامات الأولى للحياة خارج الأرض لن تكون البث التليفزيوني أو الإذاعي. بدلًا من ذلك قد تكون انبعاث الأكسجين من الطحالب.» وهي تعرف أيضًا أنه يندر العثور على كوكب ككوكبنا بين الكواكب الأولى المعروفة الواقعة خارج المجموعة الشمسية والبالغ عددها ٤٠٠ كوكب. وتنبه قائلةً: «من الصعب العثور على كواكب جيدة.»

الفصل السادس

الأخطار التي تهدد المحيط الحيوي

كوكب الأرض كوكب غريب غير مألوف. منطقة الأركان الأربعة بولاية نيومكسيكو مثلًا هي مستنقع يقع على حافة بحر ضحل يمتد جنوبًا عبر ولاية تكساس، وشرقًا إلى ولاية ميسوري. يعج البحر بالحياة: بطاريق ارتفاعها ١٠ أقدام، والأسموصوريات طولها ٤٠ قدمًا، وأسماك قرش. أما اليابسة فهي استوائية خضراء يكسوها شجر الخشب الأحمر والصفصاف والمجنوليا والورود. تتبوأ العظايا الضخمة قمة السلسلة الغذائية، حيث التيرانوصورات هي المفترس المهيمن. ولأول مرة في التاريخ يشيع وجود الطيور، كما الثدييات، التي تظل صغيرة وبدائية. ليس هناك قلنسوات جليدية قطبية، ودرجة حرارة أمريكا الشمالية تزيد ١٥ درجة عنها اليوم.

بمحض الصدفة، يتقاطع مدار الأرض مع مسار كتلة صخرية تماثل المدينة في حجمها، تتحرك بسرعة ٤٠ ألف ميل في الساعة. وفي يوم من الأيام منذ ٦٥ مليون عام حلت كارثة من سماء لا غيم فيها. وبضربة واحدة تفنى معظم الزواحف الكبيرة بفعل قوة الاصطدام أو بفعل الزلازل والأمواج العارمة التي أطلقتها. تموت حياة البحار مع امتلاء الغلاف الجوي بغبار يحجب الشمس، وهو ما يدمر قاعدة السلسلة الغذائية الميكروبية. والمستفيد الرئيسي من المشهد البيئي الذي جرى إخلاؤه حديثًا هو الثدييات الصغيرة.

في عالم تزداد برودته تدريجيًّا وتندر فيه الزواحف، تتنوع الثدييات وتنتشر في جميع أنحاء القارات. من بين ١٠ عائلات من الثدييات كانت موجودة قبل الاصطدام تنقرض ٥ عائلات، لكن تلك الباقية تزداد لتصبح ٨٠ عائلة تقريبًا في غضون ١٥ مليون عام. هذه الثدييات الجديدة مبهرة كالزواحف التي حلت محلها؛ إذ تضم

آكلي النبات الذين يصل ارتفاعهم إلى ٢٠ قدمًا، والقطط سيفية الأسنان التي تماثل الأفيال المعاصرة حجمًا. ومنذ ٦ ملايين عام تظهر قردة الأشجار في أرجاء ثلاث قارات. لم تشهد أي سلالة حيوانية أخرى مثل تلك الزيادة الكبيرة في حجم المخ التي أدت إلى وجود البشر منذ مليون عام. يهيمن القرد عديم الشعر، المسمى بالإنسان العاقل، على الكوكب لفترة قصيرة لا تتجاوز آلاف عدة من السنوات، وهو نوع يبدو قادرًا على أن يحمي نفسه من قوة الانتخاب الطبيعي.

لكن ماذا لو أن مرور نجم قريب غيَّر من البيئة الجذبوية للمجموعة الشمسية بدرجة تسمح بأن تُبحر الصخرة الهائلة بعيدًا في سلام منذ ٦٥ مليون عام؟ نتصور أن يمضي الأمر على النحو الآتي: تستمر هيمنة الديناصورات المتنوعة لأكثر من ١٥٠ مليون عام. تواصل الثدييات الاختباء كفئران الذباب في عالم تحكمه الزواحف، أما القردة والرئيسيات والبشر فلن يتطوروا أبدًا، ويسير التطور صعودًا وهبوطًا دون حدث مميز.

ماذا لو أننا لا نعيد كتابة التاريخ، وماذا لو علمنا أن كويكبًا سيضرب الأرض بعد سنوات قليلة؟ قد يكون حدثًا قاسيًا غير متوقع إن عجزت التكنولوجيا الناشئة التي نتسلح بها عن درء هذه الكارثة، في الوقت الذي تسمح فيه لنا برؤية نهاية أنواعنا دون أن نكون قادرين على الحيلولة دونها. حين يأتي الموت من السماء الصافية ليبدأ فصل جديد في التاريخ ستفنى أنواع عدة، لكن نوعًا واحدًا فقط هو الذي سيستشعر الخسارة على نحو قاسٍ.

* * *

(١) مطر صلب

(١-١) الحطام الفضائي

تخيل أنك موجود في الفضاء في منتصف المسافة بين الأرض والقمر. حين تطل بناظريك في الاتجاه الذي أتيت منه سترى كوكبك الأم؛ تلك النقطة الزرقاء الباهتة. إن جماله الرقيق وسط ظلمة الفضاء يمنحك مشهدًا لا يُنسى. ستعيش أيضًا حالة من السكون التام؛ إذ تكاد المجموعة الشمسية أن تكون خالية تمامًا.

لكن بالنظر تجاه القمر ستلاحظ سطحه الذي تكسوه علامات تماثل آثار مرض الجدري؛ ففوهات البراكين، الكبيرة منها والصغيرة، تغطي سطحه، وهي عديدة للغاية، حتى إن هناك فوهات داخل فوهات. يبدو القمر كالمرآة، ونحن قريبون منه للغاية، حتى إن رحلته في أرجاء المجموعة الشمسية تماثل رحلتنا. إذا كان القمر قد تعرَّض لكمية من الحطام كافية لأن تملأه بفوهات البراكين، فمن المؤكد أننا مررنا بهذا الموقف أيضًا. يمثل القمر سجلًّا رائعًا للماضي؛ لأنه لا يملك غلافًا جويًّا، علاوة على أنه صغير للغاية بما لا يسمح له بأن يتمتع بحالة جيولوجية نشطة. لقد تسبب التآكل والتجوية وتكتونيات الصفائح في نسيان هذا التاريخ العنيف الذي مر به كوكبنا.

ترد معظم المخلفات الفضائية من حزام الكويكبات، وهو طوق الحطام الصخري الواقع بين مدارَي كوكبَي المريخ والمشتري، ويمثل كوكبًا لم ينجح في الاكتمال. قد تنهار الكويكبات أو تصطدم أو يتفاعل بعضها مع بعض بفعل الجاذبية، وأي من هذه العمليات ترسل حطامًا صغيرًا إلى المسارات الداخلية التي قد تتقاطع مع مدار الأرض. يتكون جزء قليل من المخلفات الفضائية التي تصطدم بالأرض من المذنبات أو حطامها، وعادة ما تكون الارتطامات التي تحدثها المذنبات مدمرة للغاية؛ لأنها تتحرك بسرعة تصل إلى ٥٠ كيلومترًا في الثانية (١٠٠ ألف ميل في الساعة) مقارنة بسرعة الكويكبات التي تتراوح من ١٠ إلى ٢٠ كيلومترًا في الثانية (٢٠ إلى ٤٠ ألف ميل في الساعة).

إليك معلومات إضافية عن المصطلحات الفنية المستخدمة في هذا الصدد. إن كان قُطر الحطام الفضائي أصغر من قُطر خصلة الشعر فهو غبار كوكبي، وإن كان أكبر من خصلة الشعر لكنه أصغر من الحافلة في الحجم، يسمى بالنيزك. إن كان أكبر من الحافلة، يُعرف بالكويكب (ما لم يكن مذنَّبًا). يُطلق على المسار المرئي للنيزك الذي يدخل الغلاف الجوي للأرض اسم الشهاب الساقط، وتُعرف النيازك التي تصطدم بسطح الأرض باسم الأحجار النيزكية. والعدد المتدفق من النيازك يُطلق عليه اسم وابل النيازك. الكرة النارية هي نيزك أكثر سطوعًا من المتوسط، كما يرصدها عالم الفلك، لكن إن رصدها عالم الجيولوجيا تُعرف باسم الشهاب المتفجر. ترد المادة النيزكية الأكثر بدائية من الكواكب المصغرة، ويُطلق على الأحجار النيزكية التي تحتوي على كرات صخرية متناهية الصغر اسم الأحجار الكروية (وهي أربعة أنواع، لا تسألني عنها)، أما الأحجار النيزكية التي لا تحتوي على تلك الكرات فتُعرف باسم الأحجار اللاكروية. هناك أيضًا أحجار نيزكية حديدية — يُطلق عليها اسم الأحجار الحديدية — بالإضافة إلى

أكثر من عشرين حجرًا نيزكيًّا واردًا من القمر أو المريخ. وجدير بالذكر أن علماء الفلك شديدو العناية بكل هذه الفروق، سيكون هناك امتحان فيما بعد.

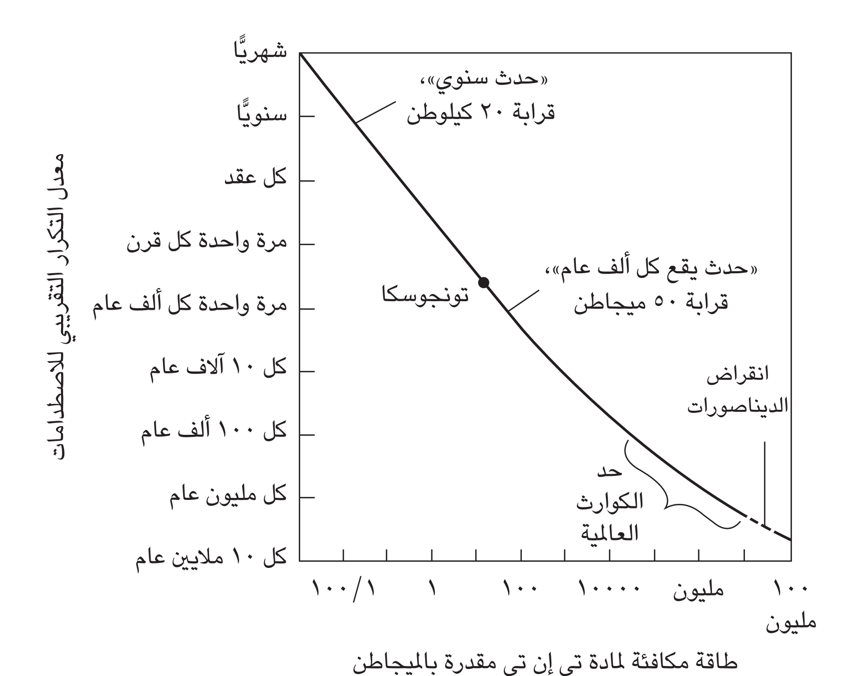
يبدو مفهوم الحطام الفضائي مجردًا للغاية ومقصورًا فهمه على فئة بعينها، بيد أنه حقيقي تمامًا. حوالي مائة طن من الأمطار تنهمر على الأرض يوميًّا، ولحسن الحظ أن معظم الحطام الفضائي صغير للغاية. يمكنك أن تشارك في متعة جمعه؛ كل ما تحتاج إليه هو دلو ومغناطيس ومجهر؛ فالأحجار النيزكية الصغيرة تتساقط على منازلنا (وعلينا) طوال الوقت. ضع الدلو أسفل مزراب للمطر وانتظر إلى أن تنجرف الأتربة الفضائية من فوق سطح منزلك بفعل المطر. أَزِل كل الأغصان الصغيرة وأوراق الأشجار، ثم افرد باقي المحتويات على لوح بلاستيكي شفاف. عن طريق تمرير مغناطيس نيوديميوم قوي فوق البلاستيك، سوف تجتذب الجسيمات المغناطيسية إلى المغناطيس. انظر إليها مستعينًا بمجهر، ستجد أن الأحجار النيزكية الصغيرة ضئيلة الحجم ومستديرة وذات تجويفات متناهية الصغر؛ دليل على رحلتها العنيفة خلال الغلاف الجوي.

(١-٢) أسماك المنوة والحيتان

ليست الأجزاء متناهية الصغر من القشور الكونية التي تستقر فوق رءوسنا وأكتافنا سببًا للقلق، لكن ما يسبب القلق هو الحطام الكوني الأكبر حجمًا بكثير. إن أكبر الأخطار التي واجهت كوكب الأرض تجسَّدت على الفور بعد تشكُّله؛ حين كانت الكواكب المصغرة لا تزال تنمو كي تشكِّل الكواكب المعاصرة، ففي غضون مائة مليون عام أزيلت معظم المادة الموجودة في السديم الشمسي البارد. شارفت الأرض على الدمار بفعل الارتطام الذي أوجد القمر، لكن بعد ذلك استقرت الأمور. وبعد سيل من الارتطامات أثناء حقبة القصف الشديد، انخفض معدل الارتطامات لمستويات أقل ألف مرة مما كان عليه. وبمرور الوقت صارت الارتطامات نادرة.[١]

في البحر توجد أسماك المنوة الصغيرة بكميات أكبر بكثير من الحيتان. في الفضاء أيضًا تعمل التصادمات على سحق المادة الصخرية ببطء، لذا توجد الصخور الصغيرة بكميات أكبر بكثير من الصخور الكبيرة، مثلما يحتوي الشاطئ على حبيبات الرمل أو الحصى بكميات أكبر بكثير من الصخور الكبيرة. ووجود كم أكبر من قطع الصخور

الصغيرة مقارنة بالقطع الكبيرة يعني أن ثمة علاقة عكسية بين حجم الجسم ومعدل تكرار اصطدام جسم بهذا الحجم بالأرض (الشكل ٦-١).



شكل ٦-١: توجد القطع الصغيرة من الحطام الفضائي بكميات أكبر بكثير من القطع الكبيرة، وهذا يخلف علاقة لوغاريتمية عكسية بين معدل تكرار الاصطدامات وحجم الجسم المقذوف نحو الأرض. يقي الغلاف الجوي الأرض من معظم التهديدات الصغيرة المتكررة، أما التهديدات الكبيرة فهي لحسن الحظ نادرة للغاية. (Chris Chapman, HoneyBee Robotics, and David Morrison, NASA Ames Research Center)

لنبدأ بالحد الأدنى كثير التكرار لكن الضعيف على نحو مطمئن. كل ساعة تقريبًا، تصل صخرة قطرها متر واحد إلى أعلى الغلاف الجوي في مكان ما فوق كوكب الأرض. تتبخر كل هذه الأجسام تقريبًا في الطبقة السفلية من الغلاف الجوي، وإن كنت تعيش قرب سماء مظلمة فربما شاهدت عددًا قليلًا من هذه الأجسام كشهب. أيضًا تصل

صخور قطرها خمسة أمتار حوالي مرة كل شهر وتطلق طاقة مساوية للقنبلة الذرية التي أُلقيت على ناجازاكي، وذلك حين تنفجر في الطبقة العلوية من الغلاف الجوي. ليست العامة على علم بهذه الانفجارات، لكن كانت القوات الجوية الأمريكية تتبعها بالأقمار الصناعية التي جرى نشرها لرصد انتهاكات الحظر المفروض على تجارب الأسلحة النووية. وتكشف الوثائق التي تجاوزت فترة سريتها عن وقوع ١٣٦ انفجارًا جويًّا بين عامي ١٩٧٥ و١٩٩٢، وهو ما يتوافق مع التوقعات الفلكية. وقبل أن يعلم الجيش أن هذه الأحداث كونية كان هناك خطر أن يلقوا بمسئوليتها على الروس؛ الأمر الذي كان سيعود بعواقب كارثية.

في ٣٠ يونيو عام ١٩٠٨ دُمرت منطقة نائية في سيبيريا إثر انفجار هائل وصل ارتفاعه إلى ثمانية كيلومترات فوق سطح الأرض. أمسكت ألسنة اللهب بالغابة المجاورة، وسوت ٨٠ مليون شجرة تمتد على مساحة أكثر من ٢٦٠٠ كيلومتر مربع بالأرض، وسجلت مقاييس الزلازل الحدث في لندن. كان هذا انفجار تونجوسكا؛ المساوي في قوته لأكبر اختبار نووي أُجري على الإطلاق؛ القنبلة كاسل برافو. بلغت قوة الانفجار تسعة ملايين طن متري من مادة تي إن تي العتيقة. وصل قطر الجسم الذي ضرب الأرض حوالي ٣٠ مترًا، ومثل هذه الأجسام نادرة فهي لا تصطدم بالأرض إلا مرة واحدة كل قرن فحسب. لقد حالفنا الحظ من الناحيتين: الزمان والمكان؛ إذ إنه لو وقع هذا الحدث في مكان آخر فلربما تسبب في قتل الكثيرين، وإن وقع في المكان نفسه بعد مرور ٥٠ عامًا في أوج الحرب الباردة ... حسنًا، يمكنك أن تتخيل الباقي.

تبلغ فوهة بارينجر الواقعة في شمال أريزونا من العمر ٥٠ ألف عام، لكن يحميها على نحو طيب مناخ الصحراء الجاف. كان الحجر النيزكي الذي خلَّفها مصنوعًا من النيكل والحديد، وضرب الأرض بسرعة ١٣ كيلومتر في الثانية (٣٠ ألف ميل في الساعة)؛ مما منحه قوة تدميرية هائلة. خلَّفت تلك القذيفة التي يبلغ قطرها ٥٠ مترًا فوهةً قطرها ميل واحد. والأجسام بهذه الشاكلة تصطدم بالأرض مرة كل ألف عام، وهو ما يعني أنها خلَّفت ندوبًا في التاريخ البشري. تبعد فوهة بارينجر عن مكان إقامتي بمسافة أقطعها في خمس ساعات من القيادة، ولقد ذهبت إلى هذه الفوهة ووقفت عند مركزها، مندهشًا من كم الصخور الصلبة الهائل الذي اقتلعته القذيفة من مكانه.

كان فريق متعدد المجالات — سُمي باسم مجموعة عمل ارتطامات الهولوسين — قد جمع الأدلة على اصطدام كويكب أو مذنب كبير الحجم بالأرض منذ ٤٥٠٠

إلى ٥٠٠٠ عام في المحيط شرقي مدغشقر. وتشير جميع التشكيلات الرسوبية الوتدية الشكل إلى فوهة يبلغ قطرها ٣٠ كيلومترًا في المحيط الهندي. كان من شأن هذا الارتطام الناجم أن يخلِّف أمواج تسونامي عاتية يصل ارتفاعها إلى ٢٠٠ متر، وتوضح حلقات الأشجار الباقية منذ ذلك الوقت مناخًا باردًا سببه حُجب الأتربة والغبار التي أثارها أحد الارتطامات. إن أعمال التقصي من هذا النوع تثير الجدل بسبب تجزؤ الأدلة وصعوبة استبعاد التفسيرات الأخرى.

ثمة جدل محتدم أيضًا حول الادعاءات القائلة باصطدام نيزك واحد أو أكثر بأمريكا الشمالية منذ ١٢٩٠٠ عام، وهو ما سبَّب انقراض الماموث والنمور سيفية الأسنان وحضارة بشرية مبكرة صانعة للأدوات أطلق عليها اسم حضارة كلوفيس. من الأدلة الداعمة لهذا الزعم العثور على صخور متناهية الصغر تشكَّلت إثر الاصطدام يُطلق عليها اسم «التكتايت»، وطبقة من الإيريديوم، وتربة متفحمة غنية بالكربون منتشرة في كل مكان، وأشكال معينات متناهية الصغر من الماس لا يمكن أن تتشكل إلا تحت ضغط وحرارة استثنائيين. لكن ليس هناك فوهة لبركان، ولا يمكن للاصطدام أن يكون السبب الوحيد لنهاية عصر الجليد الأخير؛ لأن المناخ كان يتغير لمئات السنوات قبلها. ولا يزال العبء واقعًا على مؤيدي نظرية الارتطام لكي يُظهروا أن تفسيرهم مقنع.[٢]

بالانتقال إلى الخطر الأكبر يزداد المشهد سرعة ورهبةً؛ إذ تضرب الأرضَ صخرةٌ ضخمة يبلغ قطرها ٢٠٠ متر مرة كل ١٠٠ ألف عام، مُطلِقة طاقة تعادل ٦ آلاف ميجاطن من مادة تي إن تي، وهو مقدار يزيد عن إجمالي حجم الترسانة النووية على مستوى العالم. يبلغ قطر الفوهة المتخلفة عن هذا الارتطام ثمانية كيلومترات، أما الزلزال الذي يحدثه فسيسجل ٧٫١ درجة على مقياس ريختر. سيصل ضرر موجة الانفجار وأجزاء الحطام إلى مسافة ١٦٠ كيلومترًا، وسيكون اصطدامها المباشر بإحدى المدن كافيًا لقتل ملايين الأشخاص. تذكَّر أن كويكبًا يبلغ قطره ٢٠٠ متر هو كويكب معتدل الحجم؛ أما الكويكب الذي يبلغ قطره كيلومترًا واحدًا فيعد الحد الذي يخلف بعده الارتطام آثارًا تطال العالم أجمع.

(١-٣) حين تصير العروض الضوئية مهلكة

إن المخلفات الفضائية التي ورد ذكرها حتى الآن تأتي على نحو غير متوقع، لهذا السبب لا نشعر بارتياح كبير تجاه حقيقة أن اصطدامًا يماثل في حجمه ذلك الذي

قتل الديناصورات يحدث كل ١٠٠ مليون عام. لنرى ما مدى احتمالية ذلك: لقد وقع الاصطدام منذ ٦٥ مليون عام، وهذا يعني أنه لا يزال أمامنا ٣٥ مليون عام أخرى، لذا فإننا لسنا في خطر. قد يكون ذلك صحيحًا فقط لو أن الأمر يقع كل ١٠٠ مليون عام على نحو منتظم، لكن مع العشوائية التي يتسم بها وصول الحطام الفضائي، تماثل احتمالية وقوع «الكارثة الكبرى» التالية في عيد ميلادك القادم احتمالية وقوعها في اليوم نفسه بعد مرور ٣٥ مليون عام من الآن.[٣]

يمكن التنبؤ بتوقيت نوع ما من الارتطامات ما دام ذلك يتعلق بمعرفة إن كان الاصطدام سيحدث في عيد ميلادك أم لا. يحدث وابل الشهب حين يمر كوكب الأرض خلال حطام ملقًى بطول مسار أحد المذنَّبات التي تتقاطع مع مدار كوكب الأرض. ويعتمد اسم الوابل على مجموعات النجوم التي يتركز فيها العرض الضوئي (وابل الشهب)، فوابل شهب الجبار الذي يبلغ ذروته في ٢١ أكتوبر يرتبط بالمذنَّب «هالي»، ووابل شهب برسيوس، الذي يبلغ ذروته في ١٢ أغسطس يرتبط بالمذنَّب «١٨٦٢ الثالث»، ويرتبط وابل شهب الجوزاء، الذي يبلغ ذروته في ١٤ ديسمبر، بالمذنَّب «٣٢٠٠ فايثون».[٤]

يعد تغيُّر وابل الشهب من عام لآخر إشارةً على التوزيع غير المتساوي للحطام بطول مسار المذنَّب. تتكسَّر قطع الحطام مبتعدة عن المذنَّب بفعل تأثير الشمس، وبعضها قد يكون كبيرًا بدرجة كافية لأن يتسبب في وقوع ضرر. في العام العادي، يسجِّل وابل شهب الأسد معدل ذروة معتدلًا يبلغ حوالي ١٠ ومضات ضوئية في الساعة، لكن عام ١٨٣٣ وصف شهود العيان في مدينة بوسطن عاصفة من الشهب الساقطة ذات معدل مشابه لتساقط الكتل الثلجية في عاصفة ثلجية، وفي عام ١٩٦٦ حصر شهود العيان المحليون معدلات تساقط بلغت ١٥٠ ألف ومضة ضوئية في الساعة على مدار فترة دامت ٢٠ دقيقة، وكانت السماء ساطعة بالضوء، حتى إن الناس استيقظوا لظنِّهم أن الشمس قد أشرقت.

لشهب الثور دور خاص في الوعي والثقافة الإنسانية. تَنتُج هذه الشهب — التي كثيرًا ما يطلق عليها اسم كرات الهالوين النارية لحدوثها في أواخر شهر أكتوبر — عن حطام وارد من المذنب «إنكي». هذا المذنب فريد في نوعه؛ لتمتعه بفترة مدارية تبلغ ٤٠ شهرًا فقط. وتشير العمليات الحسابية إلى أنه دخل الجزء الداخلي من المجموعة الشمسية لأول مرة منذ حوالي ٢٠ ألف عام، ومنذ ذلك الوقت تفكَّك إلى عدة قطع تماثل الكويكبات حجمًا، بالإضافة إلى كم هائل من الحطام كبير الحجم. والمذنَّب «إنكي» أحد بقايا جسم

أولي أكبر حجمًا بكثير. ولوابل شهب الثور دورة نشاط تبلغ ذروتها كل ٣ آلاف عام حين يمر كوكب الأرض بالقرب من مركزه.

كثيرًا ما يصعب للغاية إثبات أوجه الارتباط ما بين الظواهر الكونية والأحداث التاريخية، لكن ارتبطت شهب الثور بعدد من الأحداث المحورية في التاريخ الإنساني، آخرها ارتطام تونجوسكا. وقد وصلت ذروتها في زمن المسيح وحين جرى البدء في تشييد ستونهنج. ويعتقد بعض الباحثين أن انقسام المذنَّب الأصلي كبير الحجم أثناء العصر البرونزي تسبب في دمار للهلال الخصيب، وهو ما دعمه دليل عُثر عليه في العراق لفوهة نيزك كبيرة ترجع إلى ذلك الوقت. وربما وجد الحدث سبيله إلى أسطورة جلجامش حين تحدثت آنذاك عن الحكام السبعة للجحيم الذين «رفعوا مصابيحهم وأضاءوا الأرض ببريقها»، وعن عاصفة مخيفة «حوَّلت النهار إلى ليل وهشَّمت الأرض كالكوب.»

لا ندري هل يثير وابل الشهب الخوف والتعجب والتفكير الكارثي أكثر من الوقود أم لا. من السهل تصور أن الظهور المتكرر لوابل الشهب كان أحد العلامات المميزة للحضارة البشرية؛ أي إنه واحد من أولى «ذكرياتنا الشعبية». لكن قد تتعرض الأرض لخطر شديد مع حركتها المدارية المنتظمة إذا مرت بوابل كبير، وربما في عام ما يصير العرض الضوئي مهلكًا.

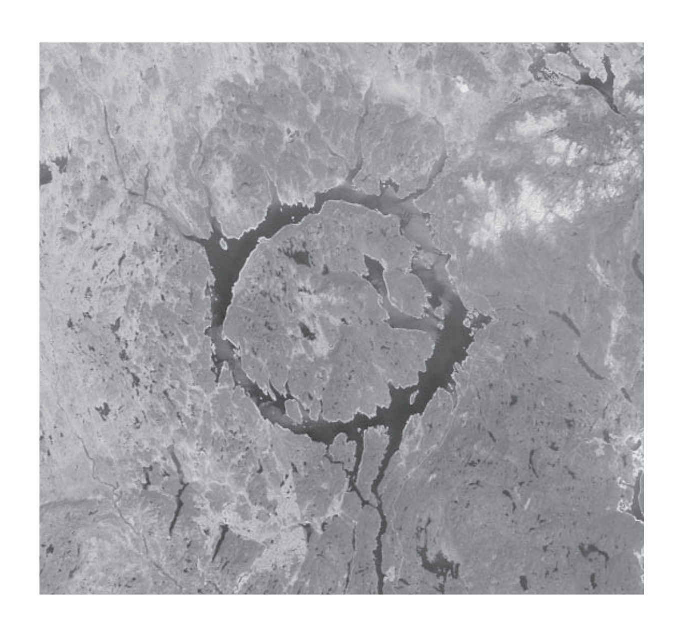
(٢) إنقاذ الكوكب

(٢-١) النجاة بأعجوبة

شهدت دراسة الحطام الفضائي تقدمًا كبيرًا منذ أبدى توماس جيفرسون رأيه إزاء تقرير أفاد بسقوط صخور من السماء قائلًا: «أسهل عليَّ أن أصدق أن أستاذين جامعيين من الشمال يكذبان عن أن أصدق أن الصخور تتساقط من السماء.» ولكي نوفيه حقه، فقد اقتنع في وقت لاحق بصحة الدليل على ذلك، واستخدم مثال الحجر النيزكي لتأييد قوة المنهج العلمي. إن عدم وجود أسطح لم تشهد أي تغيير يعني أن فوهات البراكين نادرة على سطح كوكب الأرض، بل إنه حتى خمسينيات القرن العشرين ظلت معالم على غرار فوهة بارينجر في شمال أريزونا والعلامات المستديرة على القمر تُعزى إلى النشاط البركاني.

لقد عثر على أكثر من مائة فوهة كبيرة، وفي حالات عديدة كانت الأدلة تشير إلى وجود مادة من أصل فضائي (الشكل ٦-٢). وحتى معدل الاصطدام لا يعتمد كليةً على

التخمين. لقد قاست مركبة «مارس جلوبال سيرفيور» بصورة مباشرة معدل الاصطدام الحالي للأجسام الصغيرة حين رصدت ٢٠ فوهة حديثة أثناء قيام كاميراتها بالمسح الدقيق للكوكب بين مايو ١٩٩٩ ومارس ٢٠٠٦.



شكل ٦-٢: يصل عمر فوهة مانيكواجان الموجودة في مقاطعة كيبيك إلى ٢٠٠ مليون عام، ويبلغ قطرها ٧٠ كيلومترًا، وهي واحدة من أقدم وأكبر الفوهات المعروفة. التقط مكوك الفضاء كولومبيا صورة فوتوغرافية لها عام ١٩٨٣، وعلى الرغم من تعرضها للتعرية بفعل الأنهار الجليدية والتآكل فإنها لا تزال واضحة. (NASA Headquarters and the Crew of STS-9)

بخلاف الأحداث سيئة السمعة التي دخلت إلى الثقافة الشعبية — مثل جرح فخذ آن هودجز وهي مستلقية على الأريكة في حجرة نومها، وتعرض سيارة ميشيل ناب من طراز شيفروليه ماليبو لاصطدام على بعد بوصات قليلة من خزان الوقود، والادعاء بمقتل كلب مصري بسبب صخرة آتية من المريخ — فهناك مرات نجونا فيها بأعجوبة من الهلاك بالفعل؛ ففي شهر أغسطس عام ١٩٧٢ شاهد الكثير من الأشخاص في جبال

روكي الشمالية كرة نارية تتحرك خلال النهار، أطلقها جسم يماثل المنزل في حجمه، طفت على الطبقة العلوية من الغلاف الجوي وانطلقت في الفضاء كصخرة تنطلق من سطح مائي. وفي شهر مايو عام ١٩٩٦ اكْتُشِفَ كويكب قطره ٥٠٠ متر، وبعد أيام قليلة مر هذا الكويكب بكوكب الأرض على مسافة بلغت ٤٥٠ ألف كيلومتر؛ أي حوالي ضعف المسافة بين الأرض والقمر. وفي شهر مارس عام ٢٠٠٤ مر كويكب أصغر حجمًا قطره ٣٠ مترًا على بعد ٤٠ ألف كيلومتر فقط من كوكب الأرض.

يكفي ما بعثته داخلك من شعور بالذعر. أنا لست ميالًا للتفكير الوسواسي، لكن ثمة صورة ذهنية تتسلل إلى عقلي بين الحين والآخر، ومن الصعب عليَّ التخلص منها. بطل رواية «قوس قزح الجاذبية» الشهيرة للكاتب توماس بينشون، عامل خدمة أمريكي يعيش في لندن أثناء الحرب العالمية الثانية، في وقت تتساقط فيه قنابل «ڤي ٢» الألمانية عشوائيًّا على المدينة. تسيطر على هذا البطل فكرة أن إحدى هذه القنابل، التي تسقط بسرعة تفوق سرعة الصوت، ربما تسقط مباشرةً على رأسه أثناء سيره في الطريق. تلك هي الطريقة التي قد يسقط بها أحد النيازك.

ما الذي ينبغي على الشخص الحريص أن يفعله؟ أولًا، تجنُّب الأماكن المفتوحة. ثمة استراتيجية أخرى جيدة، وهي العمل والعيش في الطوابق السفلية من الأبنية المرتفعة، لكي يواجه قاطنو الطوابق العلوية وحدهم الارتطامات. ليس السفر جوًّا بفكرة طيبة؛ لأنك بذلك ستعلو بكثير عن الغطاء الواقي لكوكب الأرض. لا تخرج من منزلك بعد منتصف الليل حين تجتمع الحركة المدارية للأرض مع دورانها ويزيدان من احتمالات تمكُّن إحدى القذائف من الوصول إلى سطح الأرض. نَمْ وأنت واقف، كأن تضع نفسك في حقيبة معلقة بإحدى خزانات الملابس؛ فهكذا ستكون مساحة المقطع العرضي لك أصغر بكثير. لقد أخطأتْ آن هودجز حين استلقت على الأريكة. وأخيرًا، تخلَّص من هذه الوساوس قبل أن يبدأ أصدقاؤك في القلق بشأنك، فقد توصل عالم الفلك آلان هاريس حسابيًّا إلى أن احتمال الوفاة على إثر أحد الاصطدامات على مدار الحياة يصل إلى شخص واحد من بين ٧٠٠ ألف شخص. من المرجح أكثر أن تموت في هجوم إرهابي، لكنك لا تقلق بشأن ذلك، أليس كذلك؟ حسنًا، هذا مثال سيئ.

كن مطمئنًّا إلى أن علماء الفلك منتبهون للخطر، مع أنهم لن يفيدوك متى تعلق الأمر بالتحديد الدقيق للقذائف الصغيرة. تعمل وكالة ناسا على تمويل عدة فرق عمل لفحص السماوات بتليسكوبات صغيرة، وهدفهم هو تحديد مدارات ٩٠٪ من الأجسام

التي يصل قطرها لكيلومتر واحد أو أكبر ولها مدارات قد تتقاطع مع مدار كوكب الأرض. قد يجعلك هذا قلقًا بشأن احتمالية أن تفلت نسبة العشرة بالمائة المتبقية من نطاق ملاحظتهم، أو أن يعجزوا عن العثور على الأجسام التي يصل حجمها لمئات عديدة من الأمتار، لكن الموقع الإلكتروني لوكالة ناسا يبعث الإحساس بالطمأنينة. نظام «سنتري»، بمعنى الحارس، هو النظام الأوتوماتيكي المعني بمراقبة الاصطدامات، وفي ديسمبر عام ٢٠٠٨ بلغت أعلى احتمالية لوقوع الاصطدامات في القائمة الواردة على الموقع ١ إلى ٣٠٠٠ لجسم يبلغ قطره ١٣٠ مترًا. علاوة على ذلك، لا يوجد في هذه اللحظة ما يشكل تهديدًا متوسطًا (باللون الأصفر)، أو أسوأ، على تدريج مقياس «تورينو» الدولي الذي تبناه الباحثون عام ١٩٩٩.

حين اصطدم المذنَّب «شوميكر-ليفي ٩» بكوكب المشتري عام ١٩٩٤، كنا نشاهد الأحداث عن قرب ونحن ممسكون بأكياس الفشار ونشاهد صورًا ملونة لهذا الاصطدام. كان المذنَّب قد تفتت بالفعل بسبب جاذبية كوكب المشتري حين اصطدم بالطبقة العلوية من الغلاف الجوي للكوكب الغازي العملاق. شوهد واحد وعشرون اصطدامًا على مدار ستة أيام، أكبرها سببته قطعة قطرها كيلومتران خلَّفت أثرًا أكبر حجمًا من كوكب الأرض، وأطلقت قدرًا من الطاقة أكبر بـ ٦٠٠ ضعف من الترسانات النووية الموجودة في العالم أجمع. وقد غرس هذا الحدث احتمالية وقوع الاصطدامات في الوعي العام.

كانت تسمية المذنب على اسم يوجين شوميكر مستحقة؛ فشهادة الدكتوراه التي حصل عليها عام ١٩٦٠ أظهرت على نحو مقنع حقيقة أن فوهة بارينجر كانت ارتطامًا، وواصل بعدها جهوده لتأسيس علم الجيولوجيا الفلكية. كان شوميكر يأمل في السير على القمر، لكن مرض أديسون الذي ألمَّ به أدى إلى استبعاده من إحدى مهام المركبة «أبولو»؛ لذا اكتفى بتدريب رواد الفضاء. ومن المفارقات القاسية أن الرجل الذي اهتم بالتصادمات طيلة حياته توفي في حادث تصادم سيارتين شمال مدينة أليس سبرنجز في أستراليا. وقد أخذ المسبار الفضائي «لونار بروسبكتر» بعضًا من رماده إلى القمر في إحدى مهامه الفضائية؛ وبهذا يكون هو الشخص الوحيد الذي حظي بشرف الدفن على جرم فلكي آخر.

(٢-٢) الكارثة الكبرى

تُقدم هوليوود فيلمًا جديدًا عن كوارث الفضاء كل عشر سنوات، لكنها عادة لا تكون أروع أفلام هوليوود. في فيلم «حين تصطدم العوالم» الذي عُرض عام ١٩٥١، تعرَّض كوكب الأرض للتهديد من كوكب ونجم، وجسَّد فيلم «النيزك» الذي عرض عام ١٩٧٩ تعاون الروس والأمريكيين في تدمير كويكب قطره خمسة كيلومترات كان متجهًا نحو الأرض. وفي عام ١٩٩٨ لم تكن كوارث الارتطامات موضوع فيلم واحد، وإنما موضوع فيلمين متوسطي الجودة هما: «الارتطام العميق» و«أرماجدون». الفيلم الأول له بعض المزايا، لكن التمثيل الرديء فاق التناول العلمي المتدني في كلا الفيلمين.

إليك التصور العلمي الحقيقي لما ستكون عليه «الكارثة الكبرى»، وهي مخيفة تمامًا كما في الأفلام. يمكنك أن تستكشف الاحتمالات بنفسك بفضل جاي ميلوش وزملائه بجامعة أريزونا. فقد صمم آلة حاسبة للكوارث على الإنترنت، وفيها يمكنك إدخال حجم القذيفة وتركيبها وسرعتها، ثم تحدد المسافة من منطقة الاصطدام، ثم تظهر أمامك الأرقام المرعبة.[٥] يحذر ميلوش في عبارة موجزة قائلًا: «إن كنت قريبًا من موقع اصطدام كبير فستحدث لك بعض الأمور السيئة جدًّا.»

لنفترض أن الجرم السماوي يتجه إلى لوس أنجلوس. لا أحمل ضغينة ضد «مدينة الملائكة»، لكن سعيًا وراء التأثير الدرامي، سنشبهها بقرية عمورة في وقتنا المعاصر. افترض أنك تقف فوق أحد التلال في مدينة دالي جنوب سان فرانسيسكو، ناظرًا جهة لوس أنجلوس على بعد ٥٦٣ كيلومترًا. ها هو الشهاب المتفجر الذي يصل قطره إلى ١٠ كيلومترات يندفع عبر السماء بسرعة ٣٠ ميلًا في الثانية. يطلق اصطدامه بالأرض العنان لطاقة مذهلة تعادل ٤٫٥ تريليونات طن متري من مادة تي إن تي. تسوِّي هذه القذيفة مدينة لوس أنجلوس بالأرض على الفور. تتبخر ثلاثة آلاف ميل مكعب من الصخور وتندفع بقوة في الهواء. تبدو الكرة النارية الظاهرة فوق المدينة التي زالت من الوجود أكبر ١٠٠ مرة من حجم الشمس وأكثر سطوعًا ١٠٠٠ مرة من سطوعها. ستمتد الفوهة من أوكسنارد إلى ريفرسايد، وستغطى صهارة الصخور واديا سان برناردينو وسان فيرناندو بعمق يصل إلى ١٦٠٠ متر.

أنت بحاجة إلى أن تكون في غرفة محصنة تحت الأرض في مدينة دالي كي تصمد أمام ما سيحدث بعد ذلك. بعد خمس ثوانٍ على وقوع الاصطدام يصل الإشعاع الحراري، مشعلًا العشب والأشجار ومذيبًا لحوم البشر والطلاء. وبعد دقيقتين يصل الزلزال إلى

سان فرانسيسكو بقوة ١٠٫٤ ريختر، وهو بهذا أكبر من أي زلزال مسجل في التاريخ. وحتى على بعد خمس أو ست ساعات بالسيارة، ستعاني العديد من الأبنية أضرارًا تتفاوت من المعتدلة إلى الشديدة.

بعد مرور ست دقائق على وقوع الاصطدام، تصل أجزاء الحطام التي يصل حجمها إلى سنتيمتر واحد بسرعة عالية. وبوصولها جميعًا، سيُغطَّى شمال كاليفورنيا بغطاء من الصخور والرماد يصل سمكه إلى خمسة أمتار. بعد نصف ساعة، تأتي الضربة القاضية على صورة موجة انفجارية. تنتقل الموجة بسرعة مئات الكيلومترات في الثانية، وهي أعلى في صوتها من الصوت المسموع بالصف الأول في إحدى حفلات الروك الموسيقية. تسوي هذه الموجة معظم الأبنية بالأرض، وكذلك الحال مع نسبة ٩٠٪ من جميع الأشجار، وتُحطم الجسور وتلقي بالسيارات والشاحنات في الهواء، كما تتقاذف الريح القش. هل تستمتع بالأمر حتى الآن؟

هذا ارتطام استثنائي غير عادي، لكنه أكبر قليلًا فحسب من ذلك الذي قتل الديناصورات. يحتفظ جاي ميلوش، «مراقب الارتطامات المتشائم»، لزائر موقعه الإلكتروني بالتفاصيل المصورة الأكثر توضيحًا. وعن ذلك يقول بلطف: «كان بإمكاننا رسم صورة أسوأ من هذه، لكن الأمر بدأ يصير مروِّعًا.»

(٣-٢) وما الذي يجب علينا فعله حيال هذا؟

وقع اصطدام مماثل لهذا الذي وصفناه للتو سبع أو ثماني مرات على مدار تاريخ كوكب الأرض. فالكويكبات أو المذنَّبات المهلكة سوف تأتي؛ هذا مؤكد، كل ما نفتقر إلى اليقين بشأنه هو التوقيت، وحتى إن كانت احتمالات قدومها ضعيفة للغاية على مدار الحياة البشرية، فالأمر يستحق وضع خطة على سبيل الاستعداد.

أول خطوة هي الحذر والاكتشاف. ثمة شبكة دولية من التليسكوبات الصغيرة تفحص السماوات كل ليلة بحثًا عن أجرام تتحرك بنمط ثابت بين النجوم. ويكفي إجراء نحو عشر عمليات رصد لتحديد المدار الأوَّلي للجرم ومعرفة هل يتقاطع مع مدار كوكب الأرض أم لا. اكْتُشِفَ أكثر من ٩٠٪ من الكويكبات القريبة من الأرض منذ عام ١٩٩٠، وعُثر على حوالي ٨٠٠ كويكب يزيد في قطره عن الكيلومتر، ويزداد ذلك العدد على نحو بطيء بسبب العثور بالفعل على معظم الكويكبات الكبيرة. يزيد العدد الإجمالي للكويكبات عن ٥ آلاف كويكب، لكن العدد يزداد بسرعة لوجود عدد هائل من الكويكبات

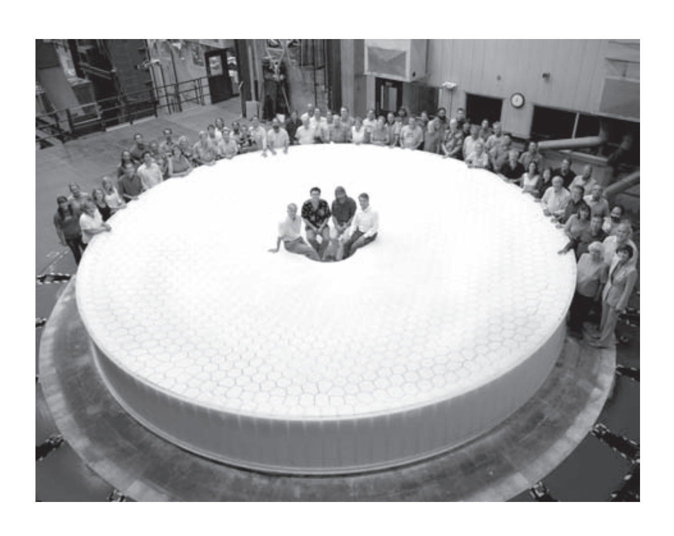
الصغيرة. وهذا العمل لا يتطلب سوى تمويل بسيط؛ لأنه لا يستلزم سوى تليسكوبات صغيرة.

من أسباب قلقنا حاجتنا إلى استكشاف المذنبات ذات الفترة المدارية القصيرة في الجزء الداخلي من المجموعة الشمسية. إن كانت المذنبات متقدمة في العمر فستكون قشورها الثلجية قد انصهرت، ومن ثم لن تسطع كالمذنبات العادية حين تكون قريبة من الشمس. ستمضي في مدارها عبر منطقة كروية الشكل، وهو ما يعني أنه يمكن العثور عليها في أي مكان بالسماء، وذلك على النقيض من الكويكبات التي تكون دومًا قريبة من مستوى مدار الشمس، وهذا يجعل العثور على المذنبات أصعب.

قطعت جهود تصنيف هذا الخطر خطى كبيرة للأمام عام ٢٠٠٨، مع تدشين كلٍّ من «نظام الاستجابة السريعة» و«تليسكوب المسح البانورامي» في هاواي. كل تليسكوب من هذه التليسكوبات الأربعة يحتوي على كاميرا ذات نقاط ضوئية (بكسلات) تزيد بمقدار ٢٠٠ مرة عن الموجودة في الكاميرا الرقمية النموذجية، وهو ما يجعلها قادرة على فحص سماء الليل بأكملها كل أسبوع. وهدف المشروع هو استكمال الإحصاء الرسمي للأجرام القريبة من الأرض التي يزيد قطرها عن كيلومتر واحد، وتصنيف أكبر عدد ممكن من الأجرام التي يزيد قطرها عن ٣٠٠ متر.

يتميز «تليسكوب المسح الشامل الكبير» بأنه أكثر طموحًا؛ إذ سيمسح هذا التليسكوب بمرآته البالغ قطرها ٨٫٤ أمتار السماء المرئية وصولًا إلى درجة وضوح أكبر بمائة مليون مرة عما يمكن للعين أن تراه. يعد مثل هذا التسجيل الضوئي المبهر ممكنًا بفضل كاميرا أقوى من أي كاميرا رقمية ربما وضعتها في جيبك؛ إذ تزن حوالي ثلاثة أطنان، وهو ما يعادل حجم سيارة صغيرة، علاوةً على أنها تتميز بدرجة دقة وضوح تبلغ ٣٢٠٠ ميجابكسل. عرضت المرآة الرائعة لهذا التليسكوب بالفعل في المرصد الذي أعمل به؛ وهي مصقولة بعناية، حتى إن أكبر عيوبها يمكن تشبيهه بنتوء ارتفاعه بوصة واحدة على سطح يماثل في حجمه حجم الولايات المتحدة. من المقرر أن يبدأ التليسكوب نفسه عملياته في تشيلي عام ٢٠١٤ (الشكل ٦-٣). وسوف يستطيع أن يحدد نسبة ٩٠٪ من الأجرام القريبة من الأرض التي تزيد في قطرها عن ١٤٠ مترًا، وذلك وفاءً بأمر إلزامي صادر عن الكونجرس بتحديد كل الأخطار المحتملة التي قد تقع بحلول عام ٢٠٢٠ والسماح لنا بالنوم بعمق.

الخطوة الثانية هي إجراء العمليات الحسابية. لقد سهَّلت أجهزة الكمبيوتر سريعة الأداء وزهيدة الثمن من أمر إعداد نماذج للمدارات وتقديم التنبؤات المستقبلية بشأنها.



شكل ٦-٣: يبلغ قطر مرآة «تليسكوب المسح الشامل الكبير» ٨٫٤ أمتار، وهي ستكون قادرةً على جمع ضوء كافٍ لاستكشاف الصخور الفضائية البالغ قطرها ١٦٠ مترًا، على بعد مليار كيلومتر. من المقرر أن يبدأ التليسكوب عملياته في تشيلي عام ٢٠١٤. عرضت المرآة أسفل مدرجات ستاد كرة القدم بجامعة أريزونا. (Howard Lester, Multiple Mirror Telescope Observatory, and the Large Synoptic Survey Telescope Corporation)

يحسب برنامج «سنتري» الذي تستخدمه وكالة ناسا احتمالات وقوع الارتطامات في الأعوام المائة التالية. بعيدًا عن ذلك، تفتقر المدارات إلى اليقين التام بما لا يتيح تنبؤات يمكن الاعتماد عليها. أصيب الكثير من الأشخاص بذعر شديد عام ٢٠٠٤ حين قرءوا أن احتمالية أن نصطدم بالكويكب الضخم «٩٩٩٤٢ أبوفيس» الذي يبلغ قطره ٣٠٠ متر في ١٣ أبريل عام ٢٠٢٩ هي ١ إلى ٣٧. أظهرت عمليات الرصد التالية أنه سيمر بجوار كوكب الأرض في عام ٢٠٢٩ على مسافة عدد قليل من الكيلومترات يبلغ ٢٦ ألف كيلومتر، وذلك ضمن نطاق أقمار الاتصالات الصناعية، وأن احتمالية وقوع الاصطدام في القرن الحادي والعشرين هي ١ إلى ٤٥ ألف.

كثيرًا ما يتراجع مستوى خطورة وقوع الاصطدام بعد جمع قدر أكبر من البيانات. هل هذا إنذار كاذب تصدره وكالة ناسا؟ كلا. تتصف المدارات الأولى بأنها غير مؤكدة

المعالم؛ لذا هي «تسمح» بكم أكبر من النتائج من بينها احتمال وقوع اصطدام في المستقبل. ومع وجود كم أكبر من البيانات تصير التنبؤات أكثر دقة، ويكون من المحتمل بدرجة أكبر أن يتبع الكويكب أحد المسارات العديدة التي لا تؤدي إلى تصادم في مقابل اتباعه لمسار واحد من المسارات ضئيلة العدد التي تؤدي إلى التصادم. فيما يتعلق بأي كويكب جرت دراسته بعناية لا تنبع قيود التنبؤ من المدار الذي تم قياسه، بل من الخصائص التي تؤثر على المدار ولا يمكن قياسها بسهولة؛ كالدوران والانعكاسية والأجرام التي ربما تتفاعل معه في المستقبل.

إن ظَلَّ أحد الأجسام في قائمة الخطر مع ازدياد عدد عمليات الرصد، يكون الوقت قد حان للنهوض من مقاعدنا والبدء في فعل شيء ما. هنا ترسم هوليوود صورة مغلوطة عن الأمر تمامًا. بالطبع يبدو ضرب الجرم الفضائي بالأسلحة النووية أمرًا رائعًا، لكن الحطام سيواصل التحرك في المسار نفسه، ويمكن أن يتسبب في ضرر أكبر من الجرم الأصلي.

بعيدًا عن أسلوب رعاة البقر، ثمة العديد من الاستراتيجيات، وبعضها بارع إلى حد ما. في مؤتمر «الدفاع عن الكوكب» الذي أقيم عام ٢٠٠٤، درس أفراد من وكالة ناسا وبعض العاملين بمجال الفضاء البدائل المتاحة. ترأس راستي شويكارت إحدى الجلسات، وهو رائد فضاء سابق تهدف مؤسسة «بي ٦١٢» التي شارك في تأسيسها لاختبار تكنولوجيا إخراج الكويكبات عن مسارها بحلول عام ٢٠١٥. يضم الموقع الإلكتروني لهذه المؤسسة ملخصًا شديد التفصيل لأخطار الارتطامات وسبل تفاديها. يجدر بالموقع أن يضع الشعار «نحن مهتمون، لذا لست بحاجة للقلق». يتطرق شويكارت للارتطامات المدمرة في حديثه قائلًا: «إن لم نَحُل دون وقوع مثل هذا الحدث فمتى يكون لدينا القدرة على ذلك، قد تكون تلك أكبر جريمة في تاريخ البشرية.»

إحدى الأفكار المقترحة تتمثل في وضع مركبة فضاء إلى جانب الكويكب واستخدامها من أجل «قطر» الكويكب ببطء إلى مسار مختلف. يمكننا أيضًا وضع مواد عاكسة على سطحه واستخدام ضغط الإشعاع المنبعث من الشمس لدفعه جانبًا بدرجة طفيفة. ويمكننا استخدام عاكس كبير من أجل تركيز ضوء الشمس عليه بحيث يعمل التيار الساخن المنبعث كمحرك دفع صغير. والأنسب من هذا هو أنه يمكننا إرفاق نظام دفع نفاث بهذا الكويكب لدفعه نحو مسار أكثر أمانًا (الشكل ٦-٤). وليست أي من تلك الأفكار بعيدة المنال؛ لأننا أرسلنا مركبات فضاء إلى مذنبات من قبل، لكن كل خيار من هذه الخيارات يستغرق عقدًا أو أكثر لتنفيذه، لذا ليس بوسعنا تنفس الصعداء بعد.[٦]



شكل ٦-٤: هذا هو انطباع أحد الفنانين عن اللقاء بين المسبار «ديب إمباكت» الفضائي والمذنب «تمبل ١» في الأول من يوليو عام ٢٠٠٥. أرسل المسبار قذيفة تزيد خمس مرات في كتلتها عن كتلة الشخص العادي، لتصطدم بالسطح بهدف تحديد مكونات المذنب، لكن هذا أيضًا كان اختبارًا لمدى قدرتنا على الاقتراب من أحد المذنبات أو الكويكبات وتغيير مساره إن كان كوكب الأرض معرضًا للخطر بسببه. (Pat Rawlings, University of Maryland, and NASA/Jet Propulsion Laboratory)

(٣) للحياة خصائص فيروسية

(٣-١) محو الحياة تمامًا من العالم

رأينا أن المحيط الحيوي واسع الانتشار وقوي وقادر على التحمل، فالحياة على كوكب الأرض بدأت في وقت مبكر للغاية، وتشعبت إلى كل مكمن بيئي يمكن تصوره. تمتد آثار الحياة البيولوجية إلى الماضي على نحو متصل لنحو ٤ مليارات عام. وعند التفكير في نهاية المحيط الحيوي يكون السؤال الصحيح هو: ما الذي يتطلبه محو الحياة تمامًا من العالم؟

عانت الحياة البيولوجية صعابًا أخرى خلاف ارتطامات الكويكبات والمذنبات؛ فليس من بين الانقراضات الجماعية سوى انقراض واحد فقط رُبِط على نحو صريح بفوهة بركان ذات عمر وحجم مناسبين. أما عن الانقراضات الجماعية الأخرى فربما

نتجت عن حقب زمنية شهدت نشاطًا بركانيًّا كثيفًا. إن انقراض العصر البرمي منذ ٢٥٠ مليون عام — الذي أُطلق عليه اسم «الموت العظيم» لأنه أدى إلى اختفاء ٩٥٪ من الأنواع — حدث على الأرجح بسبب النشاط البركاني المرتبط بانقسام القارة العظمى الأولية، بانجيا. وفي غمضة عين جيولوجية، تغطت منطقة تماثل الولايات المتحدة في مساحتها بطبقة سمكها مئات الأمتار من الحمم، وتبخرت كمية كبيرة من الأكسجين من المحيطات. وكادت التغييرات المزدوجة في النشاط البركاني والخصائص الفيزيائية للغلاف الجوي أن تتسبب مرتين على الأقل في تجمد المحيطات في الكرة الأرضية الثلجية.

لا يوجد حدث جيولوجي شديد بدرجة كافية كي يمحو كل أشكال الحياة، لذا فإن الارتطام وحده هو من يستطيع أن يقضي على المحيط الحيوي. تشير العمليات الحسابية التي أجراها نورم سليب، الجيوفيزيائي بجامعة ستانفورد، وزملاؤه، إلى أن كويكبًا قطره ٤٠٠ كيلومتر قد يتسبب في تبخر المحيطات وتغطية الأرض بصخور منصهرة تبلغ درجة حرارتها ١١٠٠ درجة مئوية (٢٠٠٠ فهرنهايت) تنهمر كالأمطار، وتخلف طبقة من الصخور تمتد إلى عمق ٣٠٠ متر. قد تستغرق المحيطات ٢٠٠٠ عام لكي تتكون من تكثف بخار الماء. قد يتسبب حدث كهذا في محو الحياة من العالم بدرجة كبيرة.[٧]

قد يسبب ارتطام كويكب في نصف حجم الكويكب السابق — أي يبلغ قطره ٢٠٠ كيلومتر — تبخر المحيطات وإيجاد كميات هائلة من الصخور المنصهرة، لكن آثاره السلبية قد تدوم مدة ٣٠٠ عام فقط. أما عند ارتطام كويكب يبلغ قطره ١٠٠ كيلومتر بالأرض فقد تظل هناك جيوب محيطية عميقة لا تتبخر، ومن ثم يعد هذا الحد الفاصل للبقاء. وربما حدثت ارتطامات بهذا الحجم أثناء حقبة القصف الشديد منذ فترة تتراوح من ٤٫١ إلى ٣٫٨ مليارات عام مضت، لكن لا يوجد دليل على أن كويكبًا أو مذنبًا ذا قطر أكبر من ٣٠ كيلومترًا قد اصطدم بكوكب الأرض منذ ذلك الوقت.

ماذا عن المستقبل؟ لو افترضنا أن الحجم الأدنى لقطر الكويكب المهلك للحياة على الأرض هو ١٠٠ كيلومتر فإن متوسط الوقت بين مثل هذه الارتطامات هو حوالي ٢٠ مليار عام. لذا ليس من المحتمل أن يحدث ارتطام كهذا لمليارات الأعوام القادمة، مع أن الطبيعة العشوائية للتوقيت تعني أن ثمة احتمال ضئيل بوقوع مثل هذا الارتطام في وقت مبكر للغاية عن ذلك. ومع ذلك، فمن السهل متابعة الكويكبات التي يبلغ قطرها ١٠٠ كيلومتر، وبذا قد نأخذ حذرنا قبل وصوله إلى الأرض بوقت كافٍ.

(٣-٢) الاستيلاء على العالم

يمتد نطاق التنوع الحيوي من البكتيريا إلى الحيتان الزرقاء، ومن الصعب تخيل الحياة دون وفرة في الأنواع، لكن ماذا لو كان قدر المحيط الحيوي هو أن يرتد إلى شيء واحد فحسب وهو: الميكروبات؟ تذكر أن الميكروبات ظلت تهيمن وحدها على العالم حتى انفجار العصر الكمبري. تحوي الحيوانات من الميكروبات عشرة أضعاف ما تملك من الخلايا؛ لذا تملك الميكروبات العالم بالفعل، وتستخدم أجسامنا كفنادق تقيم بها. والاعتماد المتبادل المميز لنسيج الحياة يبدو أمرًا مطمئنًا؛ إذ لا تستطيع الفيروسات أن تعيش دون الخلايا، وتشغل البكتيريا مواضع تطورية يحددها وجود الحيوانات والنباتات متعددة الخلايا.

تأمل بعد ذلك قصة الانقراض الجماعي الذي شهده العصر البرمي منذ ٢٥٠ مليون عام. ليس صحيحًا أن «كل الكائنات الحية» شارفت على الفناء؛ إذ نجحت الميكروبات في النجاة بسهولة. وفي الواقع، ثمة أدلة مستقاة من المؤشرات الحيوية تشير إلى أن الميكروبات ساهمت في الانقراض وأنها استفادت منه. لاحظ أن هذه النظرية لا تزال محل جدل، وستحتاج إلى أدلة إضافية قبل أن تصير مقبولة على نحو واسع.[٨]

إليك رأي علماء الكيمياء الأرضية فيما حدث. كانت شرارة هذا الحدث هي انفجار بركاني ذو حجم غير مسبوق تسبب في تكوُّن صخور البازلت البركانية في سيبيريا. أدت الزيادة السريعة في مستوى ثاني أكسيد الكربون إلى ارتفاع درجة حرارة العالم بحيث صار فارق درجة الحرارة بين القطبين وخط الاستواء طفيفًا؛ الأمر الذي سبب إخماد التيارات الهوائية وتيارات المحيطات التي تُبقي على تشبع المحيطات بالأكسجين. نتيجة لذلك، هيمنت أنواع البكتيريا الخضراء والأرجوانية التي تستمد طاقتها من التمثيل الضوئي باستخدام كبريتيد الهيدروجين. تشبعت المحيطات بغاز كبريتيد الهيدروجين السام؛ مما أدى إلى هلاك معظم الكائنات الحية الأخرى. بعد ذلك تسلل هذا الغاز الذي تشبه رائحته رائحة «البيض الفاسد» إلى الغلاف الجوي، ليتسبب في هلاك كل الحيوانات والنباتات تقريبًا، إضافة إلى تآكل طبقة الأوزون التي تحمي الأرض من الأشعة فوق البنفسجية الضارة. لقد سممت البكتيريا الكوكب.

بعدئذ واصلت البكتيريا استيلاءها على الكوكب، فالصخور التي تعود إلى أواخر العصر البرمي وبداية العصر الترياسي توضح انحسار حفريات الشُّعب المرجانية المتنوعة لمصلحة رواسب أبسط الحصائر البكتيرية. صار قاع البحر مكسوًّا بالميكروبات،

واستغرقت الكائنات الحية متعددة الخلايا ملايين عديدة من السنوات كي تشق طريق عودتها إلى النظام البيئي.

ما دام ذلك الانقراض وقع ذات مرة، فيمكن أن يحدث مجددًا. لا ينبغي لنا أن نفترض أن الكائنات كبيرة الحجم أمثالنا هي نهاية التطور أو النتيجة الحتمية له؛ فتنوع الميكروبات وقابليتها للتكيف سيمدانها بميزة تنافسية حين تتغير الأحوال بصورة جذرية. إن حدث الانقراض في سياق الانتخاب الطبيعي فسيكون الوقت متاحًا لنا للاستجابة له، وربما مواجهة المشكلة أو البحث — في أسوأ السيناريوهات — عن ملاذ آمن بعيدًا عن الأرض أو تحت سطح الأرض. لكن ثمة سيناريو آخر مقلق يمكن وفقه أن نتسبب في حدوث النتيجة نفسها دون قصد.

يُعرف هذا السيناريو بمشكلة «جرين جو». إن «جراي جو» حبكة درامية معتادة في روايات الخيال العلمي؛ إذ تنتشر الروبوتات المعتمدة على تكنولوجيا النانو والمتسلحة بخاصية النسخ الذاتي على نحو غير قابل للسيطرة عليه وتستولي على العالم. أما مشكلة «جرين جو» فهي أحد أشكال هذا السيناريو الذي تتحد فيه الهندسة الوراثية وتكنولوجيا النانو معًا كي تخلِّق ميكروبًا «مثاليًّا» يتفوق على الميكروبات الموجودة بالفعل ويستولي على المحيط الحيوي. وهذه الكائنات التي تجمع بين المادة الحية وغير الحية من المرجح أن تتصرف على نحو يستحيل التنبؤ به، بل قد يستحيل السيطرة عليه. وجدير بالذكر أن «بيوت الخبرة» قدمت تقارير عن مشكلة «جرين جو»، وأُخْضِعت مخاطرها للتقييم على يد مؤسسة «سويس ري» الحصيفة التي تؤمِّن على شركات التأمين. لذا، على أقل تقدير، من الواجب علينا توخي الحذر ونحن نطور مستقبلنا القائم على التكنولوجيا الحيوية.

(٣-٣) الأغلفة الحيوية الأبدية

كوكب الأرض صخرة حية تندفع في الفضاء. تحظى الكائنات في المحيط الحيوي لسطح الأرض بالحماية من قسوة البيئة الخارجية من خلال الغلاف الجوي الذي ينظم درجة الحرارة ويحجب الأشعة فوق البنفسجية الضارة والأشعة الكونية. وإن أمكن للحياة أن تنتقل في الفضاء على ظهر صخرة كبيرة، فهل يمكنها الانتقال على صخرة صغيرة؟ وماذا لو أن الحياة تتسم بخصائص فيروسية وأنها «أصابت» العوالم الأخرى بالعدوى؟

تذهب فكرة «التبذر الشامل» إلى أن «بذور» الحياة موجودة في أماكن أخرى بالكون، وأن الحياة على سطح الأرض والكواكب الأخرى ربما بدأت من هذه البذور. ثمة مصطلح آخر يطلق على هذه الفكرة؛ وهو «المنشأ الخارجي». في القرن التاسع عشر تدبر اللورد كلفن تداعيات أعمال كل من باستير وداروين. لقد أوضح باستير أن الحياة تأتي من الحياة ولا تنشأ تلقائيًّا، أما داروين فقد أوضح أن شكلًا واحدًا من الحياة يمكن أن يتطور إلى شكل آخر، لكنه قاوم التفكير في أصلها. ولتجنب مشكلة أصل الكائنات، ذهب كلفن إلى أنه بمقدور الكائنات أن تنتقل على الصخور التي تعبر الفضاء بين الكواكب والنجوم.

خضعت الفكرة لمزيد من التطوير على يد سفانت أرهنيوس، مؤسس علم الكيمياء الفيزيائية وصاحب نظرية الاحتباس الحراري. آمن أرهنيوس بأن الميكروبات يمكنها أن تنتقل كجراثيم خاملة عبر الفضاء مدفوعة بالضغط الإشعاعي للشمس. وفي سبعينيات القرن العشرين بث كلٌّ من فريد هويل وتلميذه ومعاونه شاندرا ويكراماسينغ الحياة من جديد في فكرة التبذر الشامل عن طريق القول إن الغبار النجمي ينهمر على الأرض والكواكب الأخرى لبدء الحياة عليها. فشلت مزاعمهما في إقناع معظم الباحثين. فعلى الرغم من زعمهما أن أنوية المذنبات والغبار النجمي تحوي فيروسات، فإن علماء الفلك القدماء لا يرون أي دليل على وجود ما هو أكثر من الوحدات البنائية الأساسية للحياة في الفضاء. وزعما أن أنماط أوبئة الأنفلونزا، بل تفشي مرض سارس، متسقة مع فرضية منشأ الفيروسات خارج الأرض، وهو ما يراه مجتمع علم الأوبئة أمرًا مستبعدًا بدرجة كبيرة.

إن فكرة التبذر الشامل لا تحل مشكلة أصل الحياة؛ بل هي تلقي بمسئولية الأمر برمته خارج كوكب الأرض، لكن هذه الفكرة تخفف من متطلبات التكوين بطريقتين؛ أولًا: تسمح بتعدد الأماكن وتعدد صور التكوين في نطاق واسع من البيئات فيما وراء الأرض. ثانيًا: تعمل على توسيع النطاق الزمني لبدء الحياة من ٣٠٠ مليون عام، بين نهاية حقبة القصف الشديد وأول دليل قوي على وجود الميكروبات، إلى ٩ مليارات عام بين أول ظهور للكربون وكواكب مجرة درب التبانة، وأول ظهور للميكروبات على الأرض. وقدرة التحمل غير العادية التي تتميز بها كائنات البيئات القاسية تجعل هي الأخرى فرضية التبذر الشامل مقنعة.

ثمة شكلان لفكرة التبذر الشامل: يتضمن الشكل الأول نقل الكائنات الحية داخل المجموعة الشمسية. فالارتطامات التي تقع على سطح أحد الكواكب أو الأقمار يمكن



شكل ٦-٥: هذه الصورة الفوتوغرافية الشهيرة الملتقطة بالمجهر الإلكتروني هي أكثر الصور إثارة للذكريات عن الحجر النيزكي «آلان هيلز ٨٤٠٠١»، حين زعم فريق وكالة ناسا أنه عثر على آثار للحياة عليه عام ١٩٩٦. الهيكل المطول الموضح في الصورة أصغر بكثير من أي أشكال خلوية على الأرض، ويمكن أن تنتج أشكال شبيهة عن «تناثر» الصخور أثناء الارتطامات. من الممكن أيضًا أن تكون الصخرة قد تلوثت بكائنات حية أرضية. (NASA/Johnson Space Center)

أن تقذف بصخور صغيرة في الفضاء. فكر فيما سيحدث لصخرة موضوعة على منصة البهلوان إن قفزت فوق هذه المنصة. مع حركة المجموعة الشمسية يصير هذا الأسلوب غير فعال، وإن كنا نعلم يقينًا أن المادة يمكن أن تنتقل من المريخ إلى الأرض في ضوء العثور على العديد من الأحجار النيزكية القادمة من المريخ، بالإضافة إلى أن التقديرات تشير إلى أن صخرة واحدة من صخور المريخ تسقط على الأرض كل شهر. الانتقال من المريخ إلى الأرض ممكن؛ لأن جاذبية المريخ ضعيفة وغلافه الجوي رفيع، وهو الكوكب الأقرب إلى الأرض، علاوة على أن الأدلة المبنية على الطاقة ترجح الحركة تجاه الشمس.

أثار الادعاء بالعثور على آثار للحياة في الحجر النيزكي الذي عُثر عليه في آلان هيلز عام ١٩٩٥ إمكانية أننا جميعًا ننتمي إلى كوكب المريخ (الشكل ٦-٥)، لكن تبين أن الدليل على وجود هذه الحياة كان محل مبالغة أو كان غامضًا، ويذهب معظم علماء الفضاء إلى أنه لم يثبت قط وجود آثار لحياة بيولوجية،[٩] وإن كان يجب التعامل مع

احتمالية هذا الأمر بجدية؛ فالمريخ كوكب صغير انخفضت درجة حرارته بسرعة، وكان مستعدًّا لاستضافة الحياة على نحو أسرع من الأرض، فمنذ ثلاثة مليارات عام كان له غلاف جوي سميك وكان دافئًا ورطبًا.

أظهرت الاختبارات التي أجريت على مدافع الفضاء في مختبرات الأسلحة الأمريكية أن البكتيريا يمكنها تحمل ضغط يساوي آلاف أضعاف قوة الجاذبية عندما تنطلق إحدى الصخور من سطح أحد الكواكب وتظل حية. إن سنتيمترات قليلة من الصخور تكفي لوقاية الحياة من الأشعة الكونية الضارة والأشعة فوق البنفسجية في فراغ الفضاء. ذلك يترك عقبة واحدة فحسب وهي: الدخول العنيف إلى الغلاف الجوي.



شكل ٦-٦: اختبرت وكالة الفضاء الأوروبية عام ٢٠٠٧ بقاء الكائنات الحية والدليل على وجود الحياة في الظروف القاسية للفضاء باستخدام عينتين من الصخور الرسوبية وعينة ضابطة من حجر البازلت جرى إرفاقها بالدرع الحراري للصاروخ «فوتوم إم٣» الروسي. فُقد حجر البازلت في الفضاء، لكن عينة الرمال البركانية البالغ عمرها ٣٫٥ مليارات عام وتحوي حفريات صغيرة، وعينة الحجر الطيني من جزيرة أوركني البالغ عمرها ٣٧٠ مليون عام وتحمل مؤشرات حيوية كيميائية عادتا دون أن يصيب حفرياتهما القديمة أي سوء. (Anita Heward, Europlanet, and ESA)

في عام ٢٠٠٧ ربط فريق من وكالة الفضاء الأوروبية صخرتين رسوبيتين صغيرتين بالدرع الحراري لكبسولة الفضاء «فوتون» غير المزودة بطاقم بشري. وقد دخلت في

طريق عودتها الغلاف الجوي بسرعة ٨ كيلومترات في الثانية (١٨ ألف ميل في الساعة) ووصلت درجة حرارة الدرع الحراري إلى ١٧٠٠ مئوية (٣٠٩٠ فهرنهايت) (الشكل ٦-٦). تبخرت البكتيريا التي غطت سطح الصخرتين، لكن الآثار الكيميائية للحياة والحفريات الصغيرة الموجودة على عمق سنتيمترات قليلة داخل الصخرتين لم تشهد أي تغير. توصلت اختبارات أخرى إلى أن الحجر النيزكي المماثل لحبة البطاطس في حجمه سيبقى باردًا في مركزه عند دخول الغلاف الجوي. وتخطط جمعية الكواكب الأمريكية لتجربة أكثر شمولًا عام ٢٠١١ حين تطلق حزمة بيولوجية بحجم قرص الهوكي على متن مركبة الفضاء الروسية «فوبوس جرَنت». ومن المقرر أن تضم الحزمة البيولوجية عينات من ثلاثة نطاقات للحياة: البكتيريا وحقيقيات النوى والعتائق. وبعد أن تمضي العينات ثلاثة أعوام في الفضاء العميق، ستعود عام ٢٠١٤.

أما الشكل الثاني من التبذر الشامل فهو نقل الكائنات الحية بين المجموعات النجمية. إن النجوم القريبة من الأرض تبعد مسافة أكبر ملايين المرات من تلك التي يبعدها المريخ عن الأرض، لذا سيكون على الصخرة أن تقطع رحلة أطول وأكثر عزلة بكثير. كان جاي ميلوش، الذي قابلناه من قبل وبثت تنبؤاته الرعب في القلوب، قد حسب المدارات والاحتمالات، فمع أن مليارات الصخور انطلقت من الكواكب الأرضية على مدار ٤ مليارات عام، فكوكب المشتري لا يُمَكِّنها من ترك المجموعة الشمسية، وهو ما يعني أن معظم الصخور لا تغادر المجموعة الشمسية. وبعد أن تقطع الصخور مسافات شاسعة بين النجوم، لا يصل منها إلى أي نجم آخر سوى عدد قليل للغاية، وبهذا لن يرتطم أي من تلك الصخور بكوكب صخري بعيد مطلقًا.

أيًّا كان مصير محيطنا الحيوي، فليس هناك طريقة طبيعية يمكن من خلالها أن تنتشر الحياة في المجرة. تشترك صور الحياة على كوكب الأرض في المادة الوراثية نفسها: فجميعها شيء واحد. والحياة في مجرة درب التبانة ستكون متنوعة ومتمايزة بنفس قدر التنوع والتمايز الذي تتسم به البيئات التي تتيح لها الوجود.

الفصل السابع

العيش في مجموعة شمسية

ليس في هذه الصخرة ما يغري بالنظر إليها؛ فهي تكوين رسوبي حُبيبي الملمس ذو لون رمادي باهت، ولا تزيد في حجمها عن ثمرة البطاطس. هي واحدة من آلاف الصخور التي تتحرر من نطاق الجاذبية الضعيف لكوكب المريخ حين يصطدم أحد الأحجار النيزكية بالبحر المالح لسهل مريدياني بلانوم. تحتوي هذه الصخرة على عينات من الحصائر الميكروبية الكثيفة التي تغطي سطح البحر الضحل، شأنها في ذلك شأن العديد من الصخور التي قذف بها الاصطدام. سرعان ما يتناثر الحطام في الفضاء بين الكواكب بعد تشكل المجموعة الشمسية وتصير الاصطدامات شائعة.

يمر الوقت، وتنطلق معظم الصخور التي قذفها المريخ في الفضاء العميق بلا حدود. هذه الصخرة مميزة؛ لأن مسارها تقاطع في الزمان والمكان المناسبين مع كوكب الأرض بعد أن دار في مداره مليون مرة. تسقط الصخرة من سماء زرقاء على كوكب مجدب. لقد عمَّ الدمار كوكب الأرض بفعل سلسلة الارتطامات الهائلة التي أدت إلى تبخر المحيطات وذوبان السطح الصخري؛ مما أدى إلى فناء الميكروبات البدائية التي تشكلت في دهر الهاديان الذي مر به الكوكب.

ترتفع حرارة الصخرة مع دخولها الغلاف الجوي السميك، لكن مركزها يظل باردًا. بعد مرور سنوات على هبوطها، يؤدي تعرضها للتجمد وذوبان الجليد على نحو متناوب إلى تفتتها، ويذيب المطر بعض مكوناتها الداخلية ويرسب مادتها في بركة ضحلة، حينئذ تزوَّد الميكروبات بالمياه، وتعود إلى الحياة مرة أخرى. ومع أن المواد الكيميائية للموطن الجديد المحيط تشكل بيئة مثيرة للتحدي لتلك الميكروبات، فبعد آلاف الأجيال من التكيف تزدهر هذه الميكروبات وتنتشر في العديد من المكامن البيئية الجديدة.

يتباين مسارا الكوكب الأم والكوكب المتبني للصخرة، فكوكب المريخ ليس ذا جاذبية كافية تتيح له الاحتفاظ بغلاف جوي سميك أو تحريك التكتونيات؛ لذا يتعرض الكوكب للجفاف ويصير صحراء قارصة البرودة. أما كوكب الأرض فله غلاف جوي سميك يموج بنتاج عملية التمثيل الضوئي، ومع الوقت، تبزغ شجرة الحياة ذات التنوع البيولوجي شديد التعقيد.

بعد أن تجتاز الأرض مدارها مرات ومرات عديدة، تنطلق أربعة من الكائنات الحية كبيرة الحجم لكوكب الأرض في الفضاء. هي لا تنتقل في صخرة، بل في حاوية معدنية تحوي عالمًا مصغرًا يماثل الغلاف الجوي للكوكب. وفي حين تطل هذه الكائنات بناظريها بشغف عبر نافذة صغيرة، يلوح المريخ في الأفق. وفيما بعد، وعلى سطح المريخ، تعمل هذه الكائنات متسلحة بهدف، وتتحرك بيسر في الجاذبية الرقيقة. إنها بعيدة للغاية عن الوطن، لكنها عادت إلى الوطن أيضًا.

* * *

(١) نقاط زرقاء باهتة

(١-١) كوكب الأرض النادر

تطرقنا حتى الآن للنهايات في إطار سياق ثلاثة عوالم مألوفة ومتداخلة: الكائن البشري، والأنواع البشرية، والمحيط الحيوي الذي يضم كل البشر. الآن نخطو خارج عالم المألوف لننتقل إلى العالم الكوني غير المألوف.

ثمة سبب يدفعنا لتدبر الكيفية التي ستنتهي عليها حياتنا، وهي وفاة مليارات الأشخاص على مر التاريخ، وعلى نحو مماثل ثمة سبب يدفعنا لتدبر الكيفية التي سينتهي عليها نوعنا؛ أن كل الأنواع قد تعرضت لآلية الانتخاب الطبيعي. لكن في حالة المحيط الحيوي وكوكب الأرض نحن نواجه مشكلة تتمثل في وجود مثال واحد فقط يمكننا دراسته والتعلم منه. وللاهتداء إلى الكيفية التي سينتهي بها العالم، نحتاج إلى إيجاد أمثلة أخرى لكواكب حية تماثل كوكب الأرض. ودون توافر معلومات إضافية، ثمة طريقتان مختلفتان لتفسير حقيقة أننا كائنات ذكية تعيش على كوكب معمر يستضيف حياة وافرة.

ربما يكون كوكب الأرض حالة نادرة. أثار بيتر وارد ودون براونلي، من جامعة واشنطن، بكتابهما الشهير الذي طُرح عام ٢٠٠٠ بعنوان «الأرض النادرة» مناقشات

حامية في الدوائر الأكاديمية وما وراءها. يتفق المؤلفان مع معظم العلماء على أن نطاق كائنات البيئات القاسية على كوكب الأرض يشير ضمنيًّا إلى أن الحياة الميكروبية قد تكون شائعةً إلى حدٍّ ما على الكواكب الأرضية خارج المجموعة الشمسية، لكنهما يميزان بشدة بين الحياة من أي نوع والحياة «المعقدة»؛ التي يمكن تعريفها على أنها مخلوقات كبيرة تتمتع بالذكاء. ليس من الضروري أن تتسلح هذه الكائنات بالتكنولوجيا، وليس من الضروري أن تكون بشرًا أو رئيسيات، لكنها مخلوقات كبيرة معقدة متعددة الخلايا تحوي عقولًا أو شيئًا مماثلًا.

يرى وارد وبراونلي أن تطور الحياة المعقدة يحتاج إلى بيئة مستقرة معمرة ومجموعة من الظروف الخاصة إلى حد ما. هذه الظروف تشمل وجود مدار مستدير تقريبًا حول نجم معمر كالشمس، وبيئة «هادئة» مواتية في مجرة درب التبانة، وكوكب عملاق كالمشتري لتوفير الحماية ضد الارتطامات، وقمر كبير لتحقيق استقرار المدار، وقدر كافٍ من الماء، وتكتونيات الصفائح. من العسير للغاية تحقيق كل هذه الشروط، وترتكز حجة «الأرض النادرة» على افتراض أن هذه العوامل تتسم بصفتين متناقضتين؛ أنها غير محتملة الوجود، وأنها ضرورية لتطور حياة معقدة.

خلال العقد الماضي تبين لنا أن الكثير من هذه الشروط ليس ضروريًّا. على سبيل المثال، تُظهر عمليات المحاكاة أن توافر الماء ووجود تكتونيات الصفائح سيكونان من السمات الطبيعية للكواكب الصخرية التي تبعد عن نجومها مسافات تماثل المسافة بين الأرض والشمس. أيضًا تُظهر هذه العمليات أن وجود كوكب ضخم كالمشتري يمكن أن يتسبب في عدد كبير من الارتطامات الهائلة بقدر ما يحول دونها. والأهم من ذلك أنه لم يثبت بعد — وربما من المستحيل أن يثبت — أن أيًّا من هذه السمات «ضروري» لتطور حياة معقدة. لقد رأينا بالفعل أن الحياة والبيئة يوجدان على نحو تكافلي؛ لذا سيكون استخدام صفات البيئة المادية للزعم بعدم احتمالية نتيجة معينة منطقًا مغلوطًا. كل ذلك يوجهنا إلى الاتجاه المعاكس.

قد لا تكون الأرض نادرةً. لقد عمل علم الفلك بنجاح في ضوء مبدأ كوبرنيكوس، أو «مبدأ عدم التميز»، طيلة السنوات الأربعمائة الماضية. لكن هذا المبدأ أشبه بتخمين قائم على الاستكشاف أو على بعض المعلومات منه بنظرية رسمية. فمع كل لحظة، ومع اكتسابنا لمزيد من المعارف عن الكون، نجد أننا لسنا متميزين أو متفردين. ما من شيء فريد أو مميز بشأن مجرة درب التبانة وموقعنا داخلها والنجم الذي ندور حوله. لقد

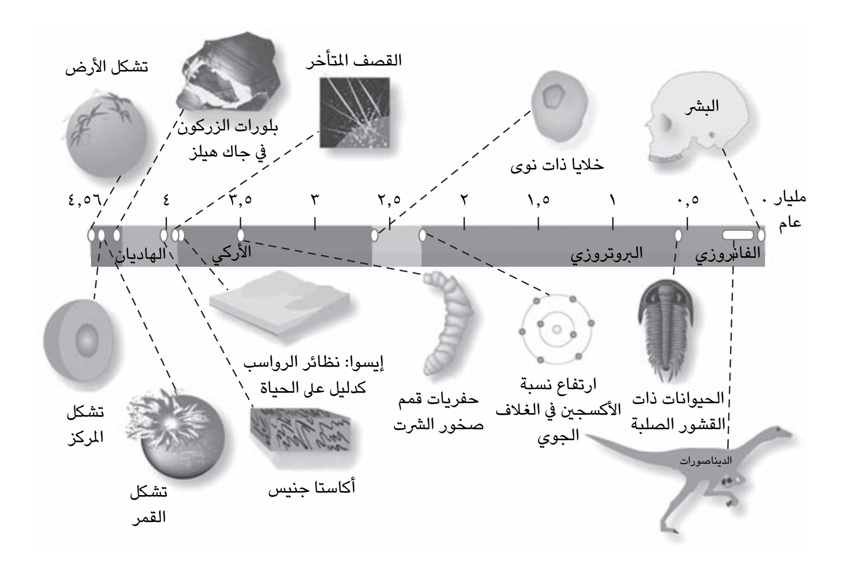
خُلِّقت المكونات الأساسية للحياة — الكربون والماء — ووزعت في كل الأماكن بلا استثناء. ويجري اكتشاف الكواكب خارج المجموعة الشمسية بصورة أسبوعية تقريبًا؛ إذ يسجل التعداد الحالي ٤٠٠ كوكب تقريبًا، وسرعان ما سنكتشف كواكب مماثلة للأرض.[١]

فكر في الكواكب على أنها حبيبات من الرمل. في رقعة من الشاطئ تبلغ مساحتها مترًا مربعًا، وبافتراض أن الرمل يمتد فيها بعمق متر واحد، يصل عدد حبيبات الرمل إلى حوالي ١٠ مليار حبة رمل. لو تجاهلنا الكواكب العملاقة الغازية وأقمارها، يكون ذلك التقييم مقبولًا ظاهريًّا لعدد الكواكب الأرضية في مجرة درب التبانة. الآن لنتخيل أننا سنفحص كل حبة رمل في ذلك المتر المكعب. في ضوء سيناريو كوكب الأرض النادر، قد يكون من غير المرجح للغاية أن تقابل أي حبة رمل يمكن العيش عليها كما هو ممكن على حبة رملنا. لكن إذا لم يكن هناك شيء مميز بشأننا، فقد تحتوي المساحة البالغة مترًا مكعبًا على آلاف أو حتى ملايين الكواكب المماثلة لكوكب الأرض.

تشمل فرضية كوكب الأرض النادر عامل الوقت؛ إذ استغرق انتقال الكائنات من المادة البدائية اللزجة إلى الحضارة ٤ مليارات عام على هذا الكوكب (الشكل ٧-١). ليست فترات التطور المتواصل الطويلة أمرًا ممكنًا في العديد من المناطق في المجرة وحول العديد من النجوم الهائلة. كيف يمكننا أن نقرر أن الوقت الذي استغرقه تطور حياة معقدة على سطح الأرض يجعل تطورها في أي مكان آخر أمرًا مرجحًا أو غير مرجح؟

يرى ريتشارد جوت، عالم الفيزياء الفلكية بجامعة برنستون، أن حجة مبدأ كوبرنيكوس يمكن تطبيقها على المواقف التي لا يتاح لديك فيها سوى عينة واحدة، ما دام ليس هناك أي سبب للاعتقاد بأنك ترصد الموقف في وقت خاص. والمنطق هنا شديد البساطة، لدرجة قد تستعصي على التصديق؛ فاحتمالية رصد الشيء في منتصف فترة وجوده أكبر من احتمالية رصده عند بدايته أو نهايته. ونسبة احتمالية رصد الشيء في منتصف فترة وجوده تبلغ ٥٠٪ في حين تبلغ احتمالية رصده في الفترة الممتدة ما بين انقضاء ٢٫٥٪ من عمره وقبل ٢٫٥٪ من نهايته ٩٥٪، وهذا ينطبق على أي موقف رصد.

طبق جوت هذا التفكير على قادة العالم وعلى الكلاب وعلى المسرحيات الموسيقية المعروضة في برودواي، لكن دعنا نستخدم مثاله عن البشرية. نحن موجودون منذ حوالي ٢٠٠ ألف عام. ووفق الحجة الزمنية لمبدأ كوبرنيكوس، من غير المحتمل أن يمثل عدد الأعوام البالغ ٢٠٠ ألف عام نسبتي الـ ٢٫٥٪ الأولى أو الأخيرة من نطاق الوجود الكامل للبشرية. وفي ظل نسبة احتمالية تبلغ ٩٥٪ سيظل الجنس البشري باقيًا لمدة تزيد عن



شكل ٧-١: في تسلسل زمني لتاريخ كوكب الأرض، يتصف موقعنا ككائنات ذكية بأنه حديث للغاية. يمكن تقديم حجج إحصائية تحدد عمر الإنسانية بناءً على حقيقة أن موقعنا في التاريخ ليس مميزًا. على الجانب الآخر، ليس لدينا نظرية عامة لتطور الذكاء. (John Valley, University of Madison–Wisconsin)

٥١٠٠ عام وتقل عن ٧٫٨ ملايين عامًا، وهو ما قد نتوقعه بالنظر للأنواع الأخرى من الثدييات.[٢]

يمكن تطبيق مبدأ كوبرنيكوس من أجل تحديد وقت النشوء بدلًا من طول البقاء. افترض أن ثمة حياة معقدة موجودة في مكان آخر في الكون، وأن الوقت الذي استغرقته الحياة للنشوء على كوكب الأرض ليس مميزًا بأي شكل، بل هو نموذج للتوزيع الإجمالي. لقد استغرق تطور الحياة المعقدة على الأرض ٤ مليارات عام. لذا بوسعنا أن نقول في ثقة تبلغ نسبتها ٩٥٪ إن تطور الحياة المعقدة في أي مكان آخر يجب أن يستغرق ما بين ١٠٠ مليون عام و٨٠٠ مليار عام. هذا نطاق شاسع للغاية، لكنه يعلمنا بالكثير، فعند النهاية العظمى، لا يمكن إلا للنجوم الأقل كتلة أن تستضيف الحياة، وستكون المناطق الصالحة لاستضافة الحياة حولها قليلة للغاية. أما عند النهاية الصغرى، يسلم

بيتر وارد بأن تطور الحياة المعقدة لن يستغرق سوى ١٠٠ مليون عام، وهذا سيفسح المجال لمشاركة النجوم عالية الكتلة ذات الأعمار الأقصر بكثير من الشمس.

(١-٢) العثور على البلية المثالية

حين كنتَ طفلًا أعطاك أحدهم بلية. كان ذلك منذ وقت طويل للغاية حتى إنك لا تتذكر تمامًا من أعطاك إياها أو متى كان ذلك. هذه البلية جميلة الشكل، بها خطوط من اللون الأزرق والأخضر على خلفية بيضاء. صرت تحملها معك في كل مكان وترتبط بها إلى حد بعيد. هذه البلية هي ملكية أثيرة لديك.

لنقل إن هذه البلية هي كوكب أرضي يحوي حياةً معقدةً؛ عالم مثل كوكب الأرض. إن كانت هذه البلية هي الوحيدة التي رأيناها أو عرفناها على الإطلاق، ما الذي ستنبئنا به هذه البلية بشأن خصائص كرات البلي الأخرى أو الكواكب الأخرى؟ ربما ليس قدرًا كبيرًا، وقد لا تنبئنا بشيء على الإطلاق. ومع ذلك يحاول العلماء، سواء المتقبلون تمامًا لفرضية كوكب الأرض النادر أو الرافضون لها، أن يثبتوا أن هذه البلية إما استثنائية أو شائعة الوجود!

إننا عالقون في شباك مشكلة مرتبطة بالاستقراء؛ أي الوصول إلى أحكام عامة من عينة واحدة. ذلك الأمر محفوف بالمخاطر من الناحية المنطقية، وقد نتوصل إلى استنتاج خاطئ إن لم تتوافر «نظرية عامة للبلي». افترض أن هناك كيسًا كبيرًا مخمليًّا أسود اللون يحوي عددًا من كرات البلي التي تمثل كل الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية. يُسمح لنا بأخذ بلية واحدة من الكيس، وحين نفعل، نجد بين يدينا بلية جميلة؛ بلية بيضاء تتخللها دوائر خضراء وزرقاء اللون. بم سينبئنا هذا بشأن كرات البلي الأخرى الموجودة في الكيس؟ قد نخمن أن جميعها تماثل الأولى، أو أن هذا هو الحال مع بعضها أو عدد قليل للغاية منها، لكن في الحقيقة لا يمكننا سوى أن نقول إن الكيس به بلية واحدة بيضاء ذات دوائر زرقاء وخضراء على الأقل، وأننا كنا محظوظين في اختيارنا الأول.

الآن افترض أن الكيس يحمل ثلاثة أنواع من كرات البلي. ثمة كرات بلي كبيرة سوداء تمثل كواكب كالمشتري، وهي الكواكب العملاقة الغازية التي لا تحمل أي حياة على سطحها. ثمة كرات بلي بيضاء صغيرة تمثل الكواكب الأرضية كالأرض، وهي تحمل اللون الأبيض الذي يشير إلى وجود حياة ميكروبية. أيضًا ثمة كرات بلي بيضاء تحوي

ألوانًا إضافية كالبلية الأولى التي حظينا بها، وهي تمثل الكواكب الأرضية المماثلة لكوكب الأرض التي طورت حياة معقدة على سطحها. على هذا النحو، افترضنا أن جميع الكواكب الأرضية الشبيهة بالأرض تحوي حياةً من نوع ما، لكننا لم نذكر شيئًا عن أعدادها النسبية. وقد يكون كل نوع من أنواع البلي شائعًا أو نادرًا.

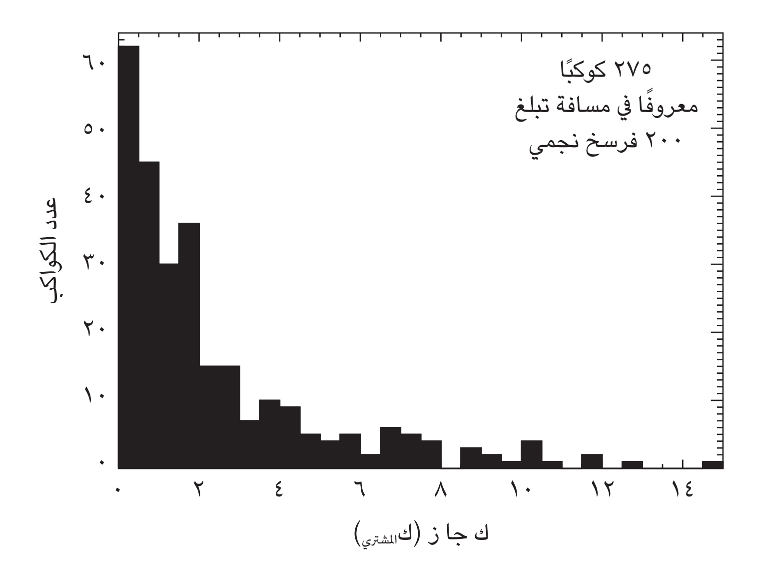
إن أخذنا بلية واحدة من الكيس؛ من النوع الأبيض الذي يحوي اللونين الأزرق والأخضر، فلن ينبئنا هذا بشيء إضافي. لكن لو كانت كرات البلي الثلاث الأولى التي التقطناها متماثلة، فقد نبدأ في الشك بأن هذا النوع شائع، وإن كانت كرات البلي العشر الأولى متماثلة فستزداد ثقتنا بشأن هذا الأمر. على الجانب الآخر، إن كانت بلية واحدة من كرات البلي العشر الأولى بيضاء وتحوي اللونين الأزرق والأخضر في حين هناك ثماني كرات تحمل لونًا أبيض خالصًا وواحدة أخرى كبيرة وسوداء، فقد نستنتج على نحو مبدئي أن الكواكب الأرضية شائعة، لكن الحياة المعقدة نادرة إلى حد ما.

لسوء الحظ، صار الموقف مختلفًا إلى حدٍّ ما في هذه المرحلة من البحث عن الكواكب خارج المجموعة الشمسية. تخيل أنك لا تستطيع مد يدك داخل الكيس، بل عليك أن تختار الكواكب مستخدمًا حلقة متصلة بمقبض طويل. تلتقط الحلقة كرات البلي السوداء الكبيرة لكن الكرات البيضاء الصغيرة تنسل منها بسهولة. تمسك الحلقة ببلية سوداء كبيرة واحدة تلو الأخرى. وحتى إن كنت مقتنعًا بوجود كرات بلي أصغر حجمًا في الكيس، فأنت لا تستطيع الإمساك بها (الشكل ٧-٢). يكتشف علماء الفلك بسهولة الكواكب المشابهة للمشتري وأورانوس، لكنهم يعجزون عن اكتشاف الكواكب المشابهة للأرض والمريخ على نحو منتظم. وكل التخمين بشأن وفرة كرات البلي البيضاء من أي نوع هو تخمين غير مؤكد بدرجة كبيرة. لكن توزيع الكتل المتزايد في سرعة تجاه حدود الملاحظات الحالية يشير ضمنيًّا إلى وجود «جبل جليدي» من الكواكب الأقل كتلة تنتظر اكتشافها.

(١-٣) تميزنا

عند مناقشة فرضية «كوكب الأرض النادر» من الشائع أن تندمج فكرتا الندرة والتميز، لذا فلنحاول الفصل بينهما، فالكواكب المماثلة للأرض قد تكون نادرةً وقد لا تكون كذلك، وهو ما يمكن لعمليات الرصد أن تحدده في الوقت المناسب.

أما التساؤل عما إذا كانت الكواكب المماثلة للأرض هي الكواكب الوحيدة التي يمكن أن تشهد تطور الحياة المعقدة فهو أمر مختلف تمامًا. إن كانت أفكارنا عن الحياة



شكل ٧-٢: توزيع كتلة أكثر من ثلثي الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية التي اكتُشفت حتى الآن على مسافة ٢٠٠ فرسخ نجمي أو ٦٥٠ سنة ضوئية. تؤثر درجة انحراف النظام على نسبة تأثير دوبلر المرصودة، ودرجة الانحراف تلك غير معروفة عادةً؛ لذا يكون المحور السيني هو حاصل ضرب الكتلة وجيب زاوية الانحراف (بعبارة أخرى، الحد الأدنى للكتلة). يزيد التوزيع بسرعة قرب كتلة المشتري التي كانت حتى وقت متأخر الحد المطبق في معظم الدراسات. هذا يشير ضمنيًّا إلى وجود عدد كبير من الكواكب ذات الكتلة الأقل غير المكتشفة بالقرب من الحافة اليسرى من الرسم البياني؛ النظرة الحالية «مقيدة» بواقع حدود الاكتشاف. (Geoff Marcy, UC Berkeley, and the California and Carnegie Planet Search)

المعقدة وكيفية تطورها شديدة التمركز حول كوكب الأرض فربما يكون كل ما فعلناه هو نسج قصة تفسر السبب وراء ضرورة أن يكون العالم من حولنا على النحو الذي هو عليه كي يوجد البشر. إننا لا نزال في مرحلة الصراع من أجل اكتشاف كواكب مماثلة للأرض، أما تحديد خصائص الكواكب بما يكفي لأن نحدد إذا كانت صالحةً للحياة أو هي مأهولة بالفعل فهو أمر يبعد عنا بعدد قليل من الأعوام، أما التحقق فعليًّا من

علامات وجود حياة على كواكب الأرض البعيدة فربما يبعد عنا بعدد من الأعوام يتراوح من ١٠ إلى ٢٠ عامًا.

ديفيد جرينسبون هو أحد العلماء المتخصصين في علم الكواكب، وأيضًا هو عازف جيتار غير متفرغ بفرقة روك. إنه عالم يعتمد على المشاركة النشطة، وهو يرضى بالتعلم من المسبارات الفضائية، لكنه يتوق لأن يهيم على سطح العوالم الغريبة بنفسه. وهو يملك وجهة نظر غير مألوفة بشأن النتيجة غير العادية؛ إذ يقول: «تحولت سلالة قطي ووكي من قطط أزقة تكاد تتضور جوعًا إلى قطط منزلية محبوبة عبر سلسلة غير محتملة من الحوادث … ثقوا بي، ففي ضوء كل الأحداث الاستثنائية التي تحتم مرور سلالته بها على نحو ما سارت عليه تمامًا، من المرجح بشدة أنه ما من قط آخر مثل ووكي. لا أقصد من كلامي هذا أنه لا وجود لأي قطط أخرى («فرضية القطة النادرة»)، كل ما هنالك أنه لا توجد قطط أخرى تماثل ووكي تمامًا.»[٣]

قد لا يكون مفهوم «التميز» مفيدًا، فنحن لا نعرف سوى أحد المسارات التي تطورت من خلالها الحياة لتصير ذكية. ربما يكون المسار الوحيد، لكن لا يوجد ما يدعونا للاعتقاد بذلك. الأرجح أن تفكيرنا أو تطورنا مقيد بالبيئة التي نعيش فيها وأنه يفتقر إلى الخيال. لقد ألف جاك كوهين وإيان ستيوارت كتابًا عنوانه «كيف يبدو المريخيون؟» هدف في جزء منه إلى دحض مفهوم كوكب الأرض النادر.

مثلما تصمد كائنات البيئات القاسية في ظروف مادية متنوعة — تعد طبيعيةً وغير استثنائية بالنسبة لها، لكنها شديدة الصعوبة لنا — من الممكن أن يكون باستطاعة أكثر صور الحياة تطورًا أو تعقيدًا أن تصمد في ظروف غير مألوفة. ومع ذلك، فقد يكون قضاء يوم على الشاطئ أمرًا مروعًا لمثل تلك الكائنات، أو حسبما وصفه كوهين وستيوارت: «يتدفق في جميع أرجاء المكان إشعاع كهرومغناطيسي منهمر كالأمطار، وغلاف جوي متآكل من الأكسجين، وتلك المادة المذيبة الشديدة المسماة بأول أكسيد الهيدروجين.»

لنعُد إلى حجة مبدأ كوبرنيكوس التي ذهبت إلى أن لحظة وجودنا في التاريخ ليست مميزة. قدم عالم الفيزياء الأسترالي براندون كارتر أول شكل من الحجة التي قَدَّمها في وقت لاحق بقدر هائل من التفصيل ريتشارد جوت، عالم الفيزياء الفلكية بجامعة برنستون. افترض فحسب أننا لا نعيش بين أوائل أفراد نوعنا القليلين أو أواخرهم؛ أي إن مكاننا على «القائمة البشرية» ليس فريدًا أو مميزًا. يبلغ عدد جميع البشر الذين

عاشوا على الأرض حوالي ١٠٠ مليار إنسان، وذلك تقدير جيد للمكان الذي نحتله على القائمة.[٤]

الآن تفكر في سيناريوهين للمستقبل: وجهة النظر التشاؤمية هي أن البشر لن يصمدوا على قيد الحياة إلا لقرنين، ومن ثم يكون إجمالي عدد البشر الذين عاشوا على الأرض هو ١٢٠ مليار شخص. أما وجهة النظر التفاؤلية فتقضي ببقاء البشرية لآلاف عديدة من الأعوام، وربما يصل الأمر إلى الخروج من كوكب الأرض والتميز بالخصوبة وتضاعف الأعداد، ومن ثم يُقدر لأعداد هائلة من البشر، تصل إلى عدة تريليونات، أن تولد في المستقبل. طبقًا لما ذهب إليه كارتر، يدعونا «مبدأ عدم التميز» إلى تصديق السيناريو المتشائم؛ لأن مكاننا على قائمة البشرية يأتي بعد انقضاء نسبة ٨٠٪ منها، وهو ما يعد أمرًا نموذجيًّا وغير مفاجئ، في حين يعني السيناريو المتفائل أننا نوجد في بداية القائمة. دعونا لا نفرط في التفاؤل بشأن مصيرنا.[٥]

(٢) الحياة فيما وراء الأرض

(٢-١) الزهرة والمريخ ملائمان

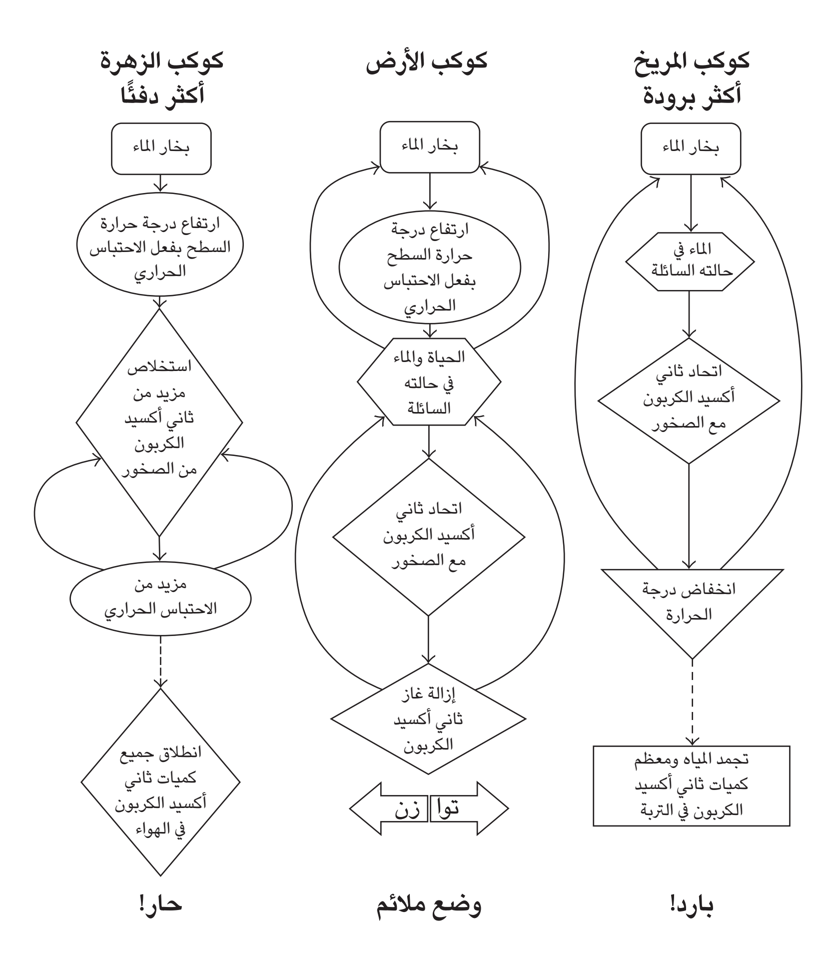
يقابل المسافرون مجموعة شمسية بها ثلاثة كواكب أرضية، أحد هذه الكواكب بمنزلة توأم مماثل لكوكب الأرض، لكن غلافه الجوي يحتوي على النيتروجين، ويخلو من الأكسجين، وبه قدر قليل من ثاني أكسيد الكربون، وقارته العظمى الوحيدة محاطة ببحر مالح غني بالمعادن. أما الكوكب الثاني فله غلاف جوي سميك كثيف به ثاني أكسيد الكربون، ويحوي براكين نشطة وعددًا هائلًا من ينابيع المياه الحارة التي تتفجر إلى أنهار دافئة في المرتفعات. الكوكب الثالث هو الأصغر، وله غلاف جوي رقيق، ويحوي بحيرات ضحلة تظهر كالنقاط على سطحه. ويسبب ذوبان القلنسوات الجليدية القطبية شبكة متفرعة من المجاري المائية. وثمة حياة ميكروبية وفيرة على سطح كل كوكب من هذه الكواكب.

المجموعة الشمسية التي وصفناها للتو هي مجموعتنا الشمسية منذ ٣ مليارات عام. الكوكب الأول هو الأرض، والثاني هو الزهرة، والثالث هو المريخ. التكهن الوحيد في الأمر يتعلق بالجملة الأخيرة؛ كوكبا الزهرة والمريخ كانا أكثر ملاءمة للحياة منذ ٣ مليارات عام، على نحو يفوق ما هما عليه الآن، لكننا لا نعرف إن كانا استضافا الحياة فعلًا أم لا (الشكل ٧-٣).

تشير الأدلة الحديثة إلى أن الزهرة اتسم بكونه ملائمًا للحياة أكثر من المريخ في بعض النقاط من تاريخه. إن المريخ الآن كوكب جاف وبارد، وقد دحضت المركبة «مارس ريكونيسانس أوربيتر» الأدلة المثيرة التي أشارت إلى حدوث جريان سطحي حديث وقيعان بحر ضحلة رسوبية. على الجانب الآخر تشير نماذج لكوكب الزهرة إلى أنه احتفظ بمحيطات من الماء السائل مدة مليار عام بعد تشكله، وهو ما يوفر قدرًا هائلًا من الوقت كي تتشكل الحياة بعد نهاية حقبة القصف الشديد. إن ديفيد جرينسبون متحمس للغاية حيال إرسال مركبة تهبط على سطح كوكب الزهرة للبحث عن آثار للحياة السابقة في الأجزاء الصغيرة من سطحه التي لم يُعِد النشاط البركاني تشكيلها. لكن قد تكون المهمة صعبة للغاية في ضوء الظروف الطبيعية الوعرة. ويصل الأمر به إلى حد اعتقاد أن الحياة ربما انتقلت إلى مكمن بيئي في الطبقات الكثيفة للسحب بعد تبخر المحيطات. وهو يشير إلى إمكانية وجود سكان لكوكب الزهرة مثلما يُعتقد بوجود سكان لكوكب المريخ.

ليست الظروف مثالية تمامًا على كوكب الأرض؛ إذ إنه يستضيف الحياة بالكاد. وتكشف عمليات محاكاة الكواكب الأرضية التي تتراوح كتلتها من ١ / ٢ إلى ١٠ أضعاف كتلة الأرض عن حقيقة أن تكتونيات الصفائح تعجز عن القيام بعملها حين يكون الكوكب أصغر بكثير من كوكبنا. هذه التكتونيات هي مكون أولي — وربما رئيسي — للحياة؛ نظرًا لأنها تتيح العمليات الكيميائية المعقدة وإعادة تدوير ثاني أكسيد الكربون؛ هذا يمنح الكوكب غطاءً واقيًا دافئًا. وقد اكتشف علماء الفلك أكثر من اثني عشر «كوكبًا ضخمًا مماثلًا للأرض»، وهذا مسمى يطلق على الكواكب التي تزيد في حجمها مرتين عن حجم كوكبنا وتفوق كتلة كوكبنا بما يعادل ١٠ مرات. من المحتمل أن تكون هذه الكواكب نشطة على نحو صاخب، وتحوي ألواحًا متصادمة وينابيع ساخنة متفجرة ودورة شديدة العنف للكربون. هذه الكواكب الضخمة المماثلة للأرض تسير على طريق الحياة في سرعة شديدة، ومن غير الواضح ما إذا كانت أكبر أشكال الحياة حجمًا يمكنها التعامل مع هذا الأمر أم لا.[٦]

إن صلاحية الكوكب للحياة تتطور مع تطور الكوكب نفسه. ليس مصير الكواكب محددًا على نحو قاطع، بل يتغير تبعًا للظروف. والعمليات الجيولوجية والكيميائية تعمل على تآكل الكواكب كافة، عدا متناهية الصغر. وبصرف النظر عن النجم الذي يدور حوله الكوكب كبير الحجم، فإن كل كوكب كبير الحجم يحتفظ بمصدر طاقة في



شكل ٧-٣: مخطط يوضح صور التطور المختلفة لثلاثة كواكب أرضية في المجموعة الشمسية من المحتمل أنها كانت صالحة للحياة منذ ٣ مليارات عام. وقع كوكب الزهرة ضحية لاحتباس حراري متواصل، فيما جف كوكب المريخ وفقد معظم غلافه الجوي. أما كوكب الأرض فهو الكوكب الوحيد الذي ظل صالحًا للحياة. (Nick Strobel, UC Bakersfield, and Astronomy Notes)

الانحلال الإشعاعي للعناصر الثقيلة التي تكمن بعمق في مركزه. وبفضل دفعة الطاقة هذه تحتفظ الكواكب بـ «حيوات» خاصة بها. إن بدأت الحياة البيولوجية على سطح الكوكب فإنها تبدأ على الفور في تغيير بيئته. لقد بدأت مجموعتنا الشمسية بثلاثة كواكب أرضية صالحة للحياة، اثنان منها عانيا من تغيرات مناخية خاطفة تركتهما قاحلين، أما الثالث فقد أعاد تشكيل ذاته لكي يظل صالحًا للحياة.

(٢-٢) الحياة على الأقمار

من الطبيعي أن تثير الكواكب الأرضية الاهتمام عند البحث عن عوالم حية أخرى، لكن أقمار الكواكب العملاقة الغازية كشفت عن إشارات طفيفة لصلاحيتها للحياة منذ أن مسحتها مسبارات المركبة «فوياجر»، فعلى الرغم من أن الكواكب العملاقة الغازية تقع خارج النطاق الذي يمكن أن يوجد به الماء في حالته السائلة على سطح أحد الأقمار، فثمة مصادر محلية للطاقة؛ كالحرارة الناتجة عن الإشعاع المنبعث من الصخور الداخلية والمد الحراري الوارد من الكوكب الغازي العملاق.

في أواخر عام ٢٠٠٨ عدَّد علماء الفلك ١٧٢ قمرًا في المجموعة الشمسية. يملك كل من المشتري وزحل قرابة ٦٠ قمرًا، ويملك أورانوس ٢٧ قمرًا، ونبتون والكواكب القزمة لها ١٦ قمرًا. أكبر سبعة أقمار هي: جانيميد وتيتان (وكلاهما أكبر حجمًا من عطارد) وكاليستو ويو وقمر الكرة الأرضية ويوروبا وتريتون. يدور تيتان حول زحل ويدور تريتون حول نبتون الذي يملك ١٣ قمرًا، أما الأقمار الأربعة الأخرى بخلاف قمر الأرض فهي الأقمار التي اكتشف جاليليو دورانها حول المشتري منذ ٤٠٠ عام.[٧] تناهز الأقمار الكبيرة الكواكب الصغيرة في الحجم والكتلة، واثنان منها يتمتعان بحالة جيولوجية نشطة وأغلفة جوية قوية.

يعد القمر يوروبا عالمًا غريبًا؛ فسطحه أشبه بأحجية صور مقطعة من طبقات جليدية مجعدة تقبع أسفل غلاف جوي رقيق من الأكسجين. على هذا البعد عن الشمس تكون طبقات الجليد على سطحه صلبة كالجرانيت. لكن المد الحراري الوارد من كوكب المشتري القريب يوفر طاقة كافية للإبقاء على محيط من المياه المالحة بحالته السائلة تحت الجليد عند عمق يبلغ ١٠٠ كيلومتر. ليست البيئة على سطح هذا القمر أشد من بحيرة فوستوك القابعة تحت الجليد في القارة القطبية الجنوبية، وهو ما يثير احتمالية وجود حياة ميكروبية في محيط القمر يوروبا. تسببت ميزانية وكالة ناسا المثقلة في

وقف إحدى المهام التي كان من المقرر أن تهبط على الجليد وتشق طريقها عبره وتدرس المحيط بواسطة قمرة مائية. يتحدث بوب باބالاردو على الأرجح نيابةً عن غالبية العلماء المتخصصين في علم الكواكب حين أعرب عن شعوره بالإحباط تجاه هذا الموقف قائلًا: «لقد بذلنا قدرًا كبيرًا من الوقت والجهد في محاولة فهم هل كان المريخ صالحًا للحياة فيما مضى. لكن من المحتمل أن يملك القمر يوروبا جميع العناصر اللازمة للحياة ... ليس فقط منذ أربعة مليارات عام ... بل اليوم.»[٨]

القمر تيتان هو ثاني قمر مثير للاهتمام في النطاق الخارجي للمجموعة الشمسية. وقد كشفت المركبة «كاسيني» والمسبار «هويجنز» عن مشهد مألوف لبحار ودلتا أنهار وأطواف جليدية وسحب، لكن على نحو مختلف. يعتمد الطقس النشط للقمر تيتان على الإيثان والميثان والأمونيا والأسيتيلين. تقذف البراكين بمزيج من الأمونيا والماء، كما تُرى بحيرات الهيدروكربونات عند دوائر العرض الشمالية. والغلاف الجوي للقمر تيتان أكثر سمكًا من نظيره في كوكب الأرض، ويكاد يتشكل كلية من النيتروجين. يعد قمر تيتان مختبرًا مبشرًا على نحو مذهل لكيمياء الحياة البدائية، وربما يكون المكان الذي سنجد فيه حياة مختلفة إلى حدٍّ كبير عن أشكال الحياة المألوفة على الأرض.

بخلاف هذين القمرين اللذين يثيران الاهتمام الشديد، تشير النماذج التي أعدها آدم شومان الذي يعمل في «مختبر الأقمار والكواكب» إلى وجود أعداد إضافية من الأقمار تتراوح من ٨ إلى ١٠ أقمار في النطاق الخارجي للمجموعة الشمسية التي ربما يظل فيها الماء في حالته السائلة بفعل الضغط الموجود أسفل قشرة جليدية أو صخرية؛ من ثم لا يمكن استبعاد وجود حياة ميكروبية على سطحها. حتى القمر إنسيلادوس متناهي الصغر — بقطره البالغ ٥٠٠ كيلومتر فقط — كشفت المركبة «كاسيني» حين مرت بجواره عام ٢٠٠٥ عن انفجارات للمياه القابعة تحت سطحه.[٩] يقودنا هذا بصورة طبيعية إلى التفكير بشأن الأقمار الصالحة للحياة في الفضاء الشاسع خارج المجموعة الشمسية. في فيلم «عودة الجيداي» يتعقب جنس «الإيوكس» أتباع «دارث فيدر» في «غابة إندور القمرية»، ذات البيئة الشبيهة بالأرض، في حين يدور القمر حول كوكب عملاق غازي كالمشتري. ربما لا يكون الخيال العلمي غريبًا كما نظن.

تمخض البحث عن الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية عن عدد كبير من الكواكب المماثلة للمشتري وأخرى أكبر منه حجمًا، بالإضافة إلى عدد أصغر من الكواكب المماثلة لكوكبي أورانوس ونبتون في الحجم. إن العملية التي تشكلت الأقمار وفقها حول

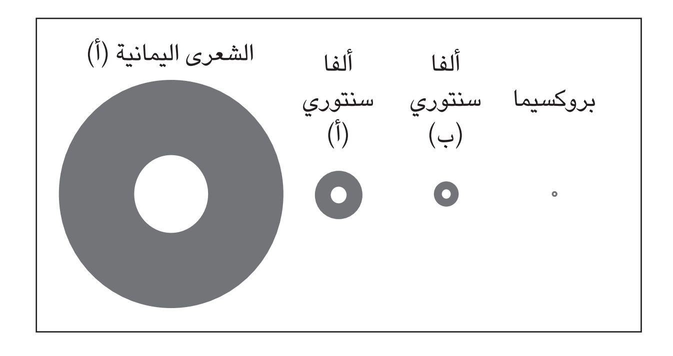
كواكبنا العملاقة الغازية من المفترض أن تجري في المجموعات الشمسية البعيدة؛ لذا يعمل علماء الفلك على تقدير عدد الكواكب البعيدة التي قد تستضيف أقمارًا صالحة للحياة. هناك عدة متطلبات لهذا الأمر؛ إذ يجب أن تساوي كتلة القمر نسبة ٧٪ أو أكبر من كتلة الأرض حتى يكون له غلاف جوي. وإن كانت كتلة القمر أقل من ٢٥٪ من كتلة الأرض فسيحتاج إلى مد حراري كي يكون نشطًا من الناحية الجيولوجية. يجب ألا تشتمل الأقمار على مدارات شديدة الانحراف عن المسارات الدائرية، أو ألا تشهد «فترات نهار» طويلة للغاية تتسبب في وجود درجات حرارة متطرفة. وثمة العديد من البيئات تفي بهذه المعايير.

على الرغم من أن العثور على كواكب تماثل الأرض أمر يصعب على عمليات مسح الكواكب كبيرة الحجم تحقيقه، فثمة احتمال أن تكون هذه العمليات قادرة على التحقق من وجود أقمار حول الكواكب الغازية العملاقة تماثل كوكب الأرض في حجمها. إن حوالي نسبة ١٠٪ من الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية التي عثر عليها حتى الآن تدور في نطاق المنطقة الصالحة للحياة في النجم المستضيف لها. ومع العثور على المزيد من تلك الكواكب يزيد احتمال عبور بعضها من أمام النجم على نحو يمكننا من رؤيته. إن التذبذب في حركة الكوكب الناتج عن وجود قمر كبير الحجم يجعل الكوكب يتباين في موقعه وسرعته، وتلك علامة مميزة تظهر في وقت الكسوف. ثمة حافز كبير وراء عمليات الرصد الصعبة هذه لأن الأقمار يمكن أن تكون أكثر ملاءمة للحياة من الكواكب الموجودة في المكان نفسه.

(٢-٣) حساب عدد العوالم الصالحة للحياة

أولًا؛ ثمة تحذير: تعد عملية حساب عدد العوالم الصالحة للحياة بمنزلة إساءة استخدام للاستقراء، فنحن لم نجمع بعد معلومات كافية لتحديد هل الكواكب الأرضية والأقمار العملاقة في مجموعتنا الشمسية صالحةً للحياة أم لا. والتقدير الاستقرائي بناءً على المعلومات المجزأة المتاحة عن الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية وعبر المجرة الشاسعة هو فعل جريء ومتهور. والآن فلنبدأ.

إن المادة الخام المتاحة لأي عملية حسابية هي النجوم البالغ عددها ٤٠٠ مليار نجم في مجرة درب التبانة. هذا العدد يخضع لهيمنة الأقزام الحمراء منخفضة الكتلة، التي ربما تشكل ٩٠٪ من إجمالي عدد النجوم، ومن ثم تعد قدرتها على إيواء الحياة أمرًا



شكل ٧-٤: تشير التعريفات التقليدية للمنطقة الصالحة للحياة إلى غلاف من الفضاء يقع حول أحد النجوم، وفيه يتحدد القطر الداخلي والخارجي بنقطتي غليان وتجمد الماء على الترتيب. الشعرى اليمانية (أ) هو نجم ساطع مضيء يضم منطقة واسعة صالحة للحياة، أما النجوم الثلاثة الموجودة إلى اليمين فجميعها موجود في نظام ثلاثي شديد القرب من مجموعتنا الشمسية. وتعادل المنطقة الصالحة للحياة حول القزم الأحمر المسمى بروكسيما سنتوري ثلث حجم النقطة الموجودة فوق حرف (i) في اللغة الإنجليزية. (Justin Cantrell, Todd Henry, Georgia State University, and the RECONS Survey)

جوهريًّا. وعام ٢٠٠٥ عقد معهد «سيتي» ورشة عمل تتناول على وجه التحديد مدى صلاحية النجوم القزمة للحياة. تمثلت المخاوف الأساسية في أن الكوكب سيتعين عليه أن يكون قريبًا للغاية من نجم كهذا كي يظل دافئًا، وعلى تلك المسافة سيرتبط مدار الكوكب بمدار النجم على نحو مدي، بحيث يظل أحد جوانبه مواجهًا على الدوام للنجم. لكن الكواكب المماثلة للأرض في حجمها سيكون بها أغلفة جوية سميكة بدرجة كافية لأن تعادل التدفق الحراري. أما القضية الأخرى فهي أن المنطقة الصالحة للحياة حول هذا النجم القزم ستكون ضيقة للغاية مقارنة بنجم كالشمس. لكن يوجد عدد كبير للغاية من النجوم القزمة التي تساهم في مجملها بمساحة كبيرة صالحة للحياة تعادل في حجمها تقريبًا المساحة التي توفرها النجوم المماثلة للشمس (الشكل ٧-٤). إن كانت الكواكب ضخمة وتحظى بالتدفئة من الداخل فستكون المسافة التي تبعدها عن النجم القزم أو أي نجم غير مهمة، وسوف تستضيف النجوم القزمة المهيمنة عددًا أكبر من الكواكب الصالحة للحياة.

ذهب بعض الباحثين إلى وجود منطقة صالحة للحياة في المجرة بالإضافة إلى المنطقة الصالحة للحياة حول النجوم. يقوم افتراضهم على أن المناطق شديدة القرب من مركز المجرة تعاني تهديدات أكبر بسبب التفاعلات النجمية أو انفجارات المستعرات العظمى (السوبرنوفا) في حين تفتقر المناطق الموجودة عند الحد الخارجي بشدة إلى العناصر الثقيلة اللازمة لتشكل الكواكب. لكن اتضح أن النجوم تتنقل فعليًّا داخل المجرة، وذلك على مدار مليارات الأعوام؛ لذا يمكن ألا تكون المنطقة الصالحة للحياة في المجرة قيدًا ثابتًا.

تستبعد الحسابات التقليدية نسبة ٥٠٪ من جميع النجوم الموجودة في النظم الثنائية، لكن عمليات المحاكاة توضح أن معظم هذه النظم شديدة الاتساع بما لا يسبب الاضطراب للكواكب الأرضية. بعد ذلك هناك الكواكب الأرضية التي لم يُحصَ عددها الموجودة في النظم النجمية البعيدة. إننا مضطرون للاعتماد على عمليات المحاكاة الحاسوبية لمعرفة كيفية تشكل هذه النظم، وفي كل من هذه العمليات نرى عددًا من الكواكب يتراوح من اثنين إلى أربعة كواكب، في إطار معامل قدره ٢ من كتلة الأرض، ومعظم هذه الكواكب بها كمية كبيرة من المياه؛ تزيد بما يتراوح من ١ / ١٠ و١٠٠ مرة عن محتويات محيطاتنا. ولكي نضيف مزيدًا من الأقمار الصالحة للحياة، علينا أن نستخدم المجموعة الشمسية كدليل. وهنا يكون نطاق الأقمار الصالحة للحياة يتراوح من قمرين إلى أربعة أقمار؛ إذ يمثل الرقم الأقل كل من يوروبا وتيتان فحسب، في حين يضيف الرقم الأعلى القمرين اللذين اكتشفهما جاليليو؛ كاليستو وجانيميد.

ما الإحصاء الإجمالي للمناطق الصالحة للحياة؟ في ضوء وجهات النظر التقليدية بشأن المناطق الصالحة للحياة رأينا من قبل تقديرًا يشير إلى وجود ١٠٠ مليون عالم صالح للحياة. إن سلمنا بأمر معظم الأقزام الحمراء والنجوم الثنائية، وقبلنا معامل انخفاض قيمته ١٠ من أجل المنطقة الصالحة للحياة في المجرة، يكون العدد الأولي هو ٢٠ مليار نجم يعيش كل منها مدة مليارَيْ عام أو أطول، وهو قدر كبير من الوقت يتيح نشأة الحياة. وفي ظل وجود ٦ عوالم تقريبًا صالحة للحياة في كل مجموعة شمسية، يصل عدد العوالم المحتملة الصالحة للحياة في المجرة إلى رقم مذهل قدره ١٠٠ مليار عالَم.

يعتمد آخر معاملين على التخمين التام. افترض أن نسبة ١٠٪ فحسب من العوالم الصالحة للحياة تتسم فعلًا بتطور الحياة عليها، وأن الحياة لا تتطور إلى كائنات

معقدة متعددة الخلايا إلا في نسبة ١٪ من العوالم سابقة الذكر.[١٠] حينئذ ربما تحتوي مجرة درب التبانة على ١٠٠ مليون عالم يستضيف حياة متقدمة غير معروفة الشكل والوظيفة. إن انتهاء الحياة في المجموعة الشمسية لن يمثل سوى تراجع طفيف في مجرة عامرة بالحياة. ولن تفتقدنا مجرة درب التبانة ذات النشاط الصاخب إلا قليلًا.

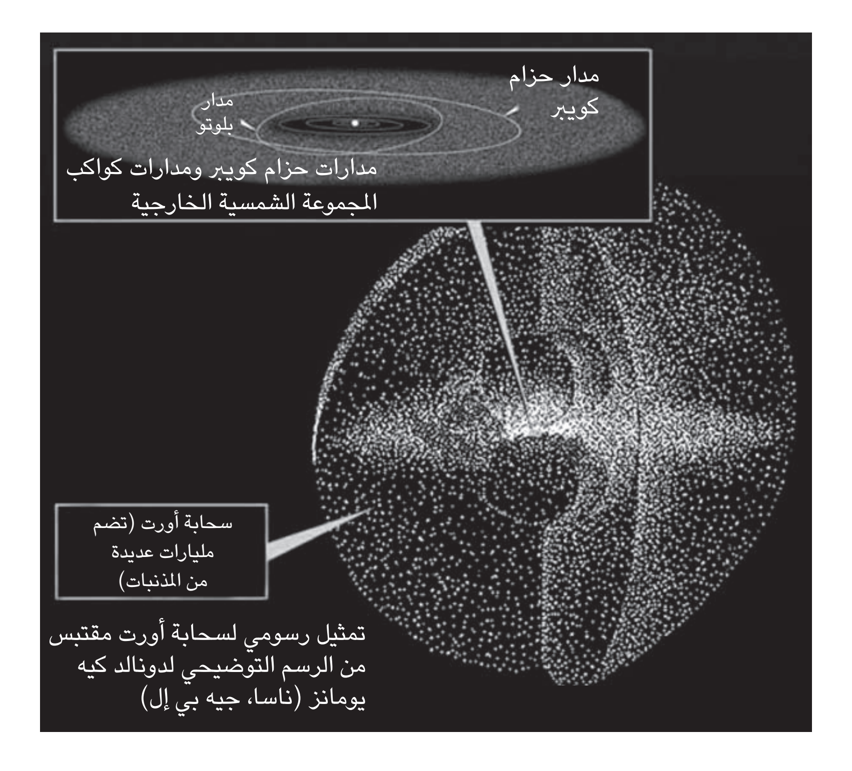
(٣) تهديدات من خارج المجموعة الشمسية

(٣-١) مشكلة في الجوار

تدور الأرض حول الشمس في مدار يشبه حلبة إطلاق النار. وكما رأينا تنطلق الكويكبات والمذنبات في عشوائية نحونا من حين لآخر. ومعظم الاصطدامات الكبرى ترد من الكويكبات؛ إذ يرتطم كويكب يبلغ قطره كيلومترًا واحدًا بالأرض مرة كل نصف مليون عام تقريبًا، في حين لا يصطدم مذنب موجود منذ فترة طويلة وذو حجم مماثل بالأرض إلا مرة كل ٣٠ مليون عام. المذنبات مهلكة؛ لأنها تنتقل بسرعة أكبر بكثير من الكويكبات، وبهذا تحشد قوة أكبر. أيضًا هي تصل من أي اتجاه؛ لذا هي أصعب في تحديد مواضعها مقارنة بالكويكبات التي يُعثر عليها بالقرب من مستوى مدار الأرض حول الشمس. وأخيرًا، هناك مستودع هائل من المذنبات التي من المحتمل أن تزور الأرض.

مستودع المذنبات هو هالة قليلة الكثافة كروية الشكل يطلق عليها اسم «سحابة أورت». تحيط سحابة أورت الافتراضية بالمجموعة الشمسية، وتمتد مسافة أكبر ١٠٠٠ مرة من المسافة بين نبتون والشمس. هي افتراضية لأنه جرى الاستدلال عليها من مدارات المذنبات (الشكل ٧-٥)، وبموجب قانون كبلر الثاني تتحرك المذنبات في بطء في مدارات بيضاوية شديدة التقارب حين تكون بعيدة عن الشمس، ثم تتحرك بسرعة داخل النطاق الداخلي من المجموعة الشمسية. تنشط المذنبات عندما تكون قريبةً من الشمس، وتكون ضعيفةً للغاية بقية الوقت. يُعتقد بوجود تريليون مذنب في سحابة أورت، ومع أن ذلك العدد لا يساوي في مجمله سوى خمسة أضعاف كتلة الأرض، فإنه قدر كبير من الذخيرة في حلبة إطلاق النار.

يعتقد ريتش مولر، الفيزيائي بجامعة كاليفورنيا في بيركلي، أن الشمس ضحية لقوة جامحة لأخ أصغر. ففي أوائل ثمانينيات القرن العشرين، لاحظ ريتش أن الانقراضات الجماعية التي وقعت في الخمسمائة مليون عام الأخيرة جرت على نحو دوري. عادة ما



شكل ٧-٥: سحابة أورت هي مستودع للمذنبات يمتد مسافة أكبر بحوالي ٥٠ أو ١٠٠ ألف مرة من المسافة بين الأرض والشمس، وهذه المسافة تمثل نسبة كبيرة من المسافة إلى أقرب النجوم. حين تقترب النجوم من سحابة أورت أو تخترقها يمكن لاضطراب الجاذبية أن يدفع العديد من المذنبات الإضافية إلى داخل المجموعة الشمسية نحو مدارات قد تتقاطع مع كوكب الأرض. (Don Yeomans, NASA/Jet Propulsion Laboratory)

يكون للانقراضات العشوائية عدة أسباب ممكنة، لكن الانقراضات التي تحدث على نحو منتظم يكون لها تفسير فلكي. افترض مولر أن ثمة نجمًا قزمًا يرافق الشمس ويتحرك في مدار بطيء لكنه يقترب على نحو كافٍ كل ٢٦ مليون عام بحيث يسبب اضطراب حركة المذنبات عند حافة المجموعة الشمسية، ومن ثم يرسل بعض المذنبات المتعاقبة نحونا. أطلق ريتش على هذا النجم اسم نيميسيس.

يقول ريتش: «أعطوني مليون دولار وسأجده.» لم يقبل أحد هذا العرض، لكن على الرغم من أنه متقاعد الآن فهو يقضي أغلب وقت فراغه في البحث عن النجم الأحمر الباهت الذي يظن أنه الرفيق المفقود للشمس. لاقى النجم نيميسيس هجومًا لأنه «حل فجائي وغير متوقع لمشكلة غير قابلة للحل»، وقد ظهر في كتاب عنوانه «تسع أفكار مجنونة في العلم: قد يكون بعضها صحيحًّا» للمؤلف روبرت إيرليتش، إلى جوار أفكار مثل «توزيع البنادق يحد من الجريمة» و«التعرض للإشعاع أمر مفيد لك». أهم المشكلات التي واجهت الفكرة هي عدم وجود اتفاق على أن الانقراضات دورية، وحقيقة أن الانقراض الوحيد المؤكد ارتباطه بمصدر من خارج الأرض هو انقراض العصر الطباشيري الثلاثي. وحتى لو كان نيميسيس غير موجود، فهناك جيران آخرون يمكنهم إحداث متاعب.

سحابة أورت سحابة حساسة وغير مستقرة، وفي أي وقت تتأثر فيه بجاذبية أي جرم قريب تهتز بعنف، ومن المحتمل أن ترسل المذنبات إلى مدارات تتقاطع مع الأرض. هذا لا يحدث على حين غرة؛ إذ يحدث بعد ٢ إلى ٣ ملايين عام من وقوع الحدث المحفز. وقد استخدم الباحثون المسارات التي حددها القمر الصناعي «هيباركوس» لحركة النجوم القريبة كي يتنبئوا بمدى «ملامسة» النجوم لسحابة أورت، وقد توصلوا إلى مرور أربع نجوم في المتوسط عبر مساحة قدرها ثلاث سنوات ضوئية، وذلك كل مليون عام. والتأثير الذي يخلفه ذلك على سحابة المذنبات يتوقف على السرعة وكذلك المسافة، وكثيرًا ما ينسب التأثير الأكبر للنجم المتطفل الأسرع وليس الأقرب.

«جلييزا ٧١٠» هو نجم قزم أحمر في كوكبة الحواء، وهو باهت للغاية، حتى إنك قد تحتاج إلى منظار مكبر لتحديد موضعه، لكن البيانات التي جاء بها القمر الصناعي «هيباركوس» تُظهر أنه يتجه مباشرةً نحونا بسرعة ٢٥ كيلومترًا في الثانية (٥٥ ألف ميل في الساعة) وأنه سيصل بعد ١,٥ مليون عام، حينئذٍ سيتوهج في السماء ليماثل في سطوعه حزام الجبار في كوكبة الجبار. من المتوقع أن يمر على بعد سنة ضوئية واحدة فحسب من الشمس، ويلامس برفق عدة ملايين من المذنبات في مدارات ستتقاطع مع مدارات الأرض. يبدو ذلك هائلًا، لكنه لا يمثل سوى زيادة قدرها ٥٠٪ عن العدد الطبيعي. وعلى مدار الامتداد الزمني نفسه ستصير ثمانية نجوم أكثر قربًا لنا من جارنا الأقرب حاليًّا؛ بروكسيما سنتوري. وسيقرع النجم برنارد الباب في غضون ١٠ آلاف عام فحسب.

من المتوقع أن تخترق النجوم سحابة أورت كل عشرة ملايين عام، وباستطاعتها أن تنثر المذنبات كقوارير البولينج الخشبية، وتسبب خطرًا حقيقيًّا على الأرض. ومع أن

الخطر حقيقي، فالأبحاث التي أجريت حديثًا تشير إلى أن تصادمات المذنبات لا تشهد زيادات حادة مفاجئة.[11] وقد توصلت المحاكاة التي أجريت لمليون مذنب جرت متابعتها على مدار عمر المجموعة الشمسية إلى أن جاذبية مجرة درب التبانة تعمل على التخلص من تأثيرات النجوم المارة، وهو ما يبقي معدل تدفق المذنبات ثابتًا نسبيًّا.

(٣-٢) عندما تموت النجوم الضخمة

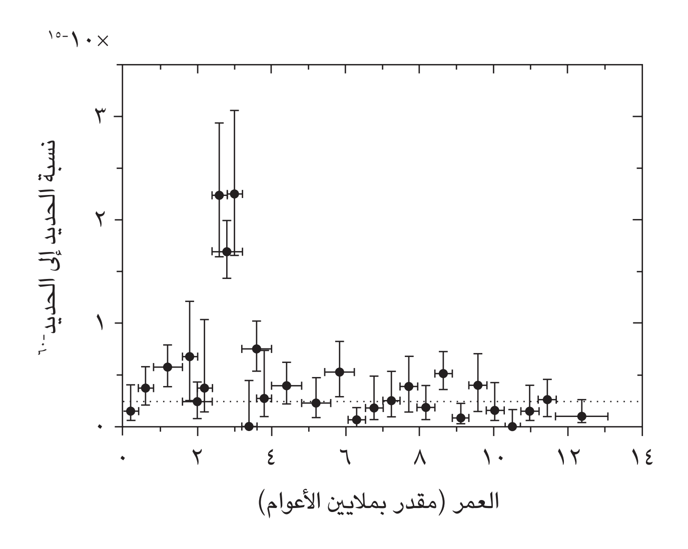
المجموعة الشمسية جزء من بيئة مَجَرِّيَّة أكبر، فنحن نقع على بعد ٢٦ ألف سنة ضوئية من مركز مجرة درب التبانة، ونتحرك على سطح القرص المجري في مدار متمهل يكتمل كل ٢٢٠ مليون عام. ومع أن الشمس وجيرانها يتشاركون في مدارات دائرية فإن النجوم القريبة تقترب منا وتتراجع، ونمر خلال سحب جزيئية تتشكل فيها نجوم جديدة، وندخل إلى الأذرع اللولبية لدرب التبانة ونخرج منها. ونقطع سطح المجرة كل ٣٠ مليون عام، وهو مقياس زمني يتصادف تقاربه مع المقياس الزمني المزعوم للانقراضات الدورية.

بعد اللقاءات النجمية يأتي أكبر تهديد للحياة على سطح الأرض حين يموت نجم ضخم على نحو عنيف كمستعر أعظم. المستعرات العظمى تجلب الحياة، لكن لو كنت على مقربة شديدة منها فستجلب لك الموت. بفضل العناصر الثقيلة التي تقذف بها المستعرات العظمى إلى البيئة النجمية المحيطة بها، تحوي النجوم الجديدة ما يكفي من السليكون والألومنيوم والحديد كي تشكل الكواكب وما يكفي من الكربون والنيتروجين والأكسجين كي تشكل الحياة. وفي الواقع، ربما نتج السديم الشمسي الذي أتى بنا إلى الوجود عن انهيار نجم قريب.

عندما يستنزف نجم ضخم وقوده النووي لا يكفي الضغط لدعم الوزن الهائل للغاز، لذا ينهار مركز النجم على نفسه. بعد ذلك يرتد المركز بعنف مطلقًا موجة انفجارية تبلغ حرارتها مليارات الدرجات، ويحرر سيلًا من النيوترينوات وأشعة جاما والأشعة الكونية. ينطلق عدد هائل من النيوترينوات يبلغ $١٠^{٥٨}$ نيوترينو بسرعة الضوء، ويزداد السطوع مليارات الأضعاف؛ وبهذا ينافس النجم الهالك المجرة بأسرها سطوعًا.

ينفجر مستعر أعظم في مكان ما في درب التبانة كل ٥٠ عامًا، لكن المجرة مكان كبير؛ لذا تكون احتمالية أن يقع أحد هذه الانفجارات في مكان ما بالقرب منا منخفضة للغاية. هل يمكن أن تكون المستعرات العظمى القديمة هي التي تسببت في الانقراضات؟

تنبأ علماء الفلك بأن البصمة التي يخلفها مثل هذا الحدث ستكون على صورة ترسيب للنظائر المشعة التي لا تأتي إلا من نجم هالك فقط. وللأسف، من العسير العثور على مستعر أعظم انفجر حديثًا. فبعد آلاف السنوات يتلاشى الغاز الساطع الذي يخلفه المستعر الأعظم، ويتلقى النجم النابض الذي يتخلف عنه ضربة قوية تبعده مسافة كبيرة عن موقع الانفجار الأصلي.



شكل ٧-٦: يتزامن انقراض طفيف للحيوانات البحرية منذ حوالي ٢ إلى ٣ ملايين عام مع ذروة في ترسيبات نظائر الحديد المشعة التي تُنتَج في انفجارات المستعرات العظمى ثم تُقذَف في الفضاء. يوضح الرسم البياني الوفرة النسبية للحديد المشع بالنسبة إلى الحديد الطبيعي، وذلك قياسًا للوقت السابق على وقتنا الحالي بملايين الأعوام. ما من أثر آخر لوفاة النجم يمكن أن يكون مرئيًّا بعد هذا الوقت الطويل، لكن هذا النوع من الأدلة يربط التغير الكوني العنيف بكارثة أرضية. (Klaus Knie and Gunther Korshinek, Munich Technical University)

في أواخر تسعينيات القرن العشرين اختبرت مجموعة من ألمانيا الأمر عن طريق قياس نظير الحديد –٦٠ المشع في الصخور الموجودة بأعماق المحيطات. وفي عام ٢٠٠٤،

في ضوء بيانات أفضل، توصلوا إلى دليل واضح على وجود قدر زائد من الحديد −٦٠ في طبقة ترجع إلى ٢٫٨ مليون عام.[١٢] أظهرت حفريات الحيوانات البحرية انقراضًا طفيفًا في ذلك الوقت (الشكل ٧-٦). ربما وقع انفجار المستعر الأعظم في مكان ما يتراوح من ٣٠ إلى ٣٠٠ سنة ضوئية. إنه لأمر مذهل أن يتمكن الباحثون من استخدام الرواسب الموجودة في أعماق المحيطات كتليسكوب لمشاهدة الحرائق النووية للنجوم التي ماتت منذ أمد بعيد!

كان ذلك في الماضي، لكن ماذا عن المستقبل؟ يحاول الكثيرون من الأشخاص إخافتنا (ومن بينهم أنا)، لذا من الطيب أن نستبعد واحدًا من مؤرقاتنا الكثيرة. في عام ٢٠٠٣ أظهرت الحسابات المنقحة لتأثير أشعة جاما على طبقة الأوزون لكوكب الأرض أن انفجار المستعر الأعظم لا بد أن يقع في نطاق ٢٥ سنة ضوئية كي يزعزع استقرار غلافنا الحيوي، وأن ذلك يجعل معدل حدوثه مرة واحدة كل ٧٠٠ مليون عام. ونظرًا لأن لدينا إحصاء جيدًا للنجوم في حدود تلك المسافة، ولأنه لا يوجد نجم ضخم بدرجة كافية لأن يموت كمستعر أعظم، يمكننا أن نتنفس الصعداء ونستبعد هذا الخطر.

ونحن نتناول موضوع مسببات الخوف الشديد، تثير الثقوب السوداء عصبية العديد من الأشخاص. يغذي كتاب عنوانه «الموت على يد ثقب أسود» للمؤلف نيل تايسون شعور القلق هذا، على الرغم من أنه لم تتطرق سوى مقالة واحدة فقط من مقالاته إلى الثقوب السوداء. حين يموت نجم ضخم كمستعر أعظم يخلف وراءه مركزًا منهارًا لا يمكن أن يفر منه أي شيء. هل ينبغي للظلام اللانهائي للثقب الأسود أن يطير النوم من جفوننا لليالٍ لا نهاية لها؟

على الأرجح لا، فعلى عكس المفهوم الشائع، ليست الثقوب السوداء مكانس كهربائية كونية تمتص كل شيء في طريقها وتشفط من يمرون بجوارها. لا يتعرض الزمان والمكان لتشويه إلا في المنطقة المجاورة لأفق الحدث مباشرة. وباستثناء مسافة عشرات الآلاف من الأميال حول الثقب مباشرة، لن تختلف الجاذبية عما هي عليه حول أي نجم يملك الكتلة نفسها. في ضوء اتساع الفضاء لن تكون عرضة للخطر، إلا إن جازفت بالاقتراب متعمدًا ذلك. على سبيل المثال، قد تموت بسبب السقوط في راقود للحديد المصهور، لكن لن يحدث ذلك إلا إذا حددت مكان مصنع صهر المعادن في منطقتك، وقدت سيارتك إلى هناك، واجتزت كل الموانع الأمنية، وتسلقت سياج الممر الضيق فوق الراقود، بعد أن تكون قد أفرطت كثيرًا في شرب الكحوليات.

ينبغي على المسافرين عبر الفضاء في المستقبل أن يتجنبوها أيضًا. إنها نادرة؛ لأن نسبة بسيطة فقط من النجوم تموت كمستعرات عظمى. سيتطلب الأمر قطع مليارات الرحلات المباشرة عبر مجرة درب التبانة كي تحظى بفرصة مصادفة أحد الثقوب السوداء. إن حدث ذلك، فقد لا تكون النتيجة جيدةً؛ فقوى المد القوية قد تفقدك السيطرة. وقبل أن تصل إلى أفق الحدث بوقت طويل سينضغط جسدك كمعجون الأسنان المنبثق من أنبوبه وسيستطيل جسدك كالشريط المطاطي. ستكون رحلة إلى الجحيم.

في الوقت الحالي يذكي الفيزيائيون المثيرون للحنق مخاوفنا عن طريق محاولة إعداد ثقوب سوداء بواسطة المعجلات، أليس هذا صحيحًا؟ في الواقع، لا. ما يذكي الخوف هو الإعلام الشعبي المنشغل بالفكرة على نحو غير عقلاني، الذي يجذب أنظار المشاهدين ويثير دهشتهم بعناوين على غرار «آلة الهلاك تدمر العالم». فوفق بعض نظريات المادة، لا كلها، يستطيع «مصادم الهادرونات الكبير» إنشاء ثقوب سوداء متناهية الصغر، لكنها من الصغر بحيث تتبخر في ثوانٍ. حتى وإن استطاعت أن تهرب من المصادم وسقطت إلى مركز الأرض، فإن المادة الإضافية التي اكتسبتها لن تؤجل تبخرها إلا ثواني معدودة.[١٣]

(٣-٣) الطامة الكبرى

أحيانًا يكون الكون مذهلًا للغاية، حتى إنه يصعب على العلماء الماهرين أن يتخيلوا كيف يمكن للطبيعة أن تُوجد الظاهرة التي يرصدونها. تدبر هذا: نجم محتضر يطلق من الطاقة ما تطلقه ألف شمس عبر حياتها بأسرها. وعلى مدار ثوانٍ قليلة يغمر الكون بأشعة جاما، ويطلق موجة انفجارية شديدة السطوع، حتى إنه من الممكن رؤية هذه النجوم المنفردة على بعد ١٣ مليار سنة ضوئية، في زمان لا يبعد كثيرًا عن الانفجار العظيم وفي مكان بعيد يمتد إلى أبعد المجرات. ذلك هو مفجر أشعة جاما.

قد تحمل النجوم الدمار للكون والبشر؛ ففي ستينيات القرن العشرين رصدت الأقمار الصناعية التي كانت تراقب أي انتهاكات لمعاهدة الحظر الشامل للتجارب النووية وميضًا غير متوقع لأشعة جاما في السماء. يمكننا أن نتخيل ما مررنا به من أوقات عصيبة عندما عصفت بنا الشكوك والمخاوف من أن الروس يختبرون الأسلحة في الفضاء، لكن اتضح أن أشعة جاما ترجع إلى أصل كوني. كان وميضها خاطفًا للغاية،

وكان لا بد من تحديد مكانها بدقة في السماء، حتى إن حل اللغز استغرق ٣٠ عامًا، مع أننا لم نستوعب بعد بالكامل هذه الكوارث الغريبة.[١٤]

ينطلق انفجار لأشعة جاما في مكان ما في الكون حوالي مرة واحدة يوميًّا، وتستطيع الأقمار الصناعية الحديثة أن ترصد أشعة جاما في ثوانٍ قليلة، وتوجه التليسكوبات الأرضية لإجراء متابعة سريعة قبل أن تختفي الكرة النارية. ثمة نوعان من أشعة جاما: يُعتقد أن تلك التي تبقى أقل من ثانيتين تنتج عن تصادم اثنين من النجوم النيوترونية، أما تلك التي تدوم فترة أطول فيعتقد أنها نماذج لمستعرات عظمى شديدة العنف تسمى المستعرات العظمى الفائقة (هايبرنوفا)، وهي صرخة تعبر عن نجم يلفظ آخر أنفاسه، وثقب أسود يولد.

عندما يموت نجم يدور على نحو سريع وتزداد كتلته عن كتلة الشمس بعشرين ضِعفًا، ينهار مركزه ويصير مستعرًا أعظم، ويخلف وراءه ثقبًا أسود ذا سحر إضافي. تتسبب الكتلة ودرجة الحرارة العاليتين مقارنة بالمستعر الأعظم العادي في تدفق أشعة جاما مع الموجة الانفجارية الناتجة، ويتسبب الدوران السريع للنجم في اندفاع الإشعاع والغاز الساخن على طول محور دوران الثقب الأسود، ليشقا طريقهما في الطبقات العليا من النجم المحتضر ويطلقان انفجارين نفاثين في أرجاء الكون بسرعة تصل إلى ٩٩٫٩٩٥٪ من سرعة الضوء، ولا نرى انفجارات أشعة جاما إلا عندما يشير أحد الانفجارين إلينا، وهو ما يعني أن ما لا نراه يزيد عما نراه بمئات الأضعاف.

يبلغ معدل انفجارات أشعة جاما انفجارًا واحدًا بالمجرة كل ١٠٠ ألف عام، لذا هي أقل تكرارًا من المستعرات العظمى بما يعادل آلاف المرات، لكن الطاقة، ومن ثم الخطر المحتمل، يكونان أعظم على نحو متماثل. ماذا سيحدث إن وجدنا أنفسنا في طريق حزمة أشعة انطلقت من مسافة ألف سنة ضوئية؟ فلنُحكِم ربط أحزمة المقعد.

ستضيء الكرة النارية على نحو مماثل لسطوع الشمس في السماء، بعد لحظات سيصطدم فيضان من الإشعاع عالي الطاقة بالغلاف الجوي مشعلًا فيه النيران. ستحترق الغابات وتغلي البحيرات والأنهار ويصير جانب الأرض المواجه للانفجار مجدبًا. سترسل موجة الاصطدام جدارًا من ألسنة اللهب حول الكوكب ارتفاعه ميل، وبهذا قد تنجو بعض كائنات المحيطات على الجانب البعيد. ستدمر أشعة جاما الكثيفة والأشعة فوق البنفسجية طبقة الأوزون في جميع أنحاء العالم. من غير المحتمل أن ينجو شيء من هذا الهجوم الضار.

الخبر الطيب عن انفجارات أشعة جاما هو أن ضراوة هذه الانفجارات تتركز في حزمة الأشعة الضيقة، ولن يقع مثل هذا الحدث في مجرة درب التبانة ويتجه نحونا إلا مرة كل ١٠٠ مليون عام أو نحو ذلك. هذا يتوافق على نحو غامض مع متوسط الوقت بين الانقراضات الكبرى، ففي عام ٢٠٠٣ اقترح آدريان ميلوت، من جامعة كانساس، ومعاونوه أن انفجار أشعة جاما ربما كان السبب في الانقراض الأوردوفيشي منذ ٤٥٠ مليون عام.[١٥] لم يكن لديهم أي دليل مادي يربط بين الفكرتين؛ لذا كان ما قدموه أقرب إلى الرأي المقبول من كونه فرضية مدعومة بالدليل. ويشير عامل التوقيت ضمنيًّا إلى أن مثل هذا الحدث لا بد أنه أثَّر على كوكب الأرض عدة مرات في تاريخه.

حين أعدت مجلة «ديسكفر» قائمة تضم أبرز ٢٠ تهديدًا للحياة على كوكب الأرض جاءت انفجارات أشعة جاما في المرتبة الثانية، مباشرة بعد الكويكبات. وقدم فيل بلايت — الذي اشتهر بفضل مدونته عن «الأحداث الفلكية المشئومة» — خدمة للبشرية حين قدم قائمة مرتبة بالتهديدات في كتابه الذي صدر حديثًا بعنوان «الموت من السماوات: هذه هي الطرق التي سينتهي بها العالم». وقد ذكر أن احتمالية هلاك المرء على مدار حياته إثر التعرض لانفجار أشعة جاما هي ١ إلى ١٤ مليون؛ هذا المعدل يقل ٢٠ مرة عنه بالنسبة لاصطدام الكويكبات.

لننظر إلى مستوى هذا الخطر؛ إن النجوم الضخمة بما يكفي كي تنفجر كمستعرات عظمى فائقة نادرة للغاية، لكننا بحاجة إلى إحصاء كامل للنجوم حتى مسافة ألف سنة ضوئية، علاوة على أن معرفتنا بمجرة درب التبانة ليست مفصلة بدرجة كافية لأن نكون متيقنين من انعدام وجودها على هذه المسافة. يأتي النجم «إيتا كارينا» على قائمة الأخطار. هو مرئي للعين المجردة، ويبعد عن الأرض بمسافة ٨ آلاف سنة ضوئية، وهو أيضًا النجم الأسطع في المجرة؛ إذ يطلق من الطاقة في غضون خمس ثوانٍ قدرًا هائلًا يماثل ما تطلقه الشمس في عام كامل. وقد رأينا سطوعه يتضاعف منذ ١٠ سنوات فحسب؛ لذا هو ليس مستقرًّا، علاوةً على أن كتلته تزيد ١٠٠ مرة عن كتلة الشمس؛ فمن المحتمل أن يفجر أشعة جاما عند موته. ولحسن الحظ، لا يبدو أن محور دورانه يشير نحونا.

ثمة نجم آخر يدعى «دابليو آر ١٠٤»، وهو أكثر إثارة للمخاوف. يقع هذا النجم على بعد مسافة مماثلة، لكن محور دورانه يتجه نحونا.[١٦] وعن هذا يقول بيتر توتهيل، أول باحث يحدد الخطر: «لا يسعني إلا أن أشعر بأن الأمر يماثل التحديق في ماسورة

بندقية. ربما أمامنا مئات الآلاف من السنوات قبل أن ينفجر، وهو قدر هائل من الوقت للوصول إلى بعض الإجابات.» هذا كل ما سنحصل عليه من طمأنة؛ فانفجار أشعة جاما لا يقدم إنذارًا مسبقًا بالوصول؛ لذا لا مغزى حقًّا من الشعور بالقلق.

أقوى النهايات هي تلك التي تأتي على نحو سريع وبلا ألم وبصورة درامية. وإن فني البشر بفعل انفجار لأشعة جاما، فسيكون ذلك أكبر حفل وداع تقيمه الطبيعة لنا؛ إذ سيكون مرئيًّا على مستوى الكون. ليس في يدنا ما نفعله إن وقعنا على مسار مثل هذه الظاهرة العنيفة، فالأمر يماثل إلى حدٍّ بعيد موقف الأرض في مسلسل الخيال العلمي الكوميدي «دليل المسافر إلى المجرة» للمؤلف دوجلاس آدامز حين وجدت نفسها على مسار أحد مشروعات البناء في المجرة.

الفصل الثامن

موت الشمس

سالي باليوناس هي الطبيبة المختصة بمتابعة حالة الشمس. هي تعلم أنه حين تعطس الشمس تعتل الأرض، وهي تقيس نبض الضوء و«التنفس» المغناطيسي للشمس، وتدرس تأثيراتها على كوكبنا، التي كثيرًا ما تكون لطيفة وأحيانًا تكون عميقةً. في القرن السابع عشر، أصيبت الأرض بنزلة برد شديدة، أطلق على هذا العصر اسم «العصر الجليدي الصغير»؛ إذ انخفضت درجات الحرارة في أوروبا بشدة، حتى إن الهولنديين كانوا يتزلجون على القنوات طوال فصل الصيف، وظل الاسكتلنديون مغمورين بالثلج طوال العام. شهد ذلك العصر أيضًا خمولًا شمسيًّا، واختل المجال المغناطيسي للشمس بدرجة كبيرة، حتى إنه «نسي» دورة البقع الشمسية المنوط بها.

اكتشفت سالي باليوناس الجرثوم الفلكي عام ١٩٧٧، حين كانت طالبة دراسات عليا تعمل في مرصد «جبل ويلسون» في جنوب كاليفورنيا. في أول ليلة قضتها في الرصد حطمت صاعقة برق شجرة قريبة وفجرت كل نوافذ المبنى؛ لذا عدَّت ذلك نذير شؤم. كانت سالي أحد أفراد فريق عمل مكون من متطوعين وعلماء فلك محترفين، وهو الفريق الذي أنقذ التليسكوب البالغ قطر مرآته ٢,٥ متر (١٠٠ بوصة)، الذي كان عملاقًا في زمانه، حتى إن إدوين هابل استخدمه لقياس حجم الكون وتمدده، من الإغلاق الوشيك. عاد التليسكوب القديم الضخم للعمل مجددًا، وهو يستخدم في كل ليلة صافية من أجل إجراء الأبحاث، وسالي باليوناس هي مديرة الموقع.

إن مراقبة الشمس وانتظار تقدمها في العمر أسوأ من مراقبة الطلاء وهو يجف؛ لذا تدرس سالي باليوناس النجوم المماثلة للشمس في مراحل تطورها المختلفة كي

تجمع أجزاء قصة تقدم الشمس في العمر. هذا يتيح لها فرصة استخدام عينة كبيرة لتتبع التغيرات التي تستغرق وقتًا أطول بكثير من حياة أي إنسان.

صارت سالي باليوناس محل انتباه الرأي العام، لكن على نحو غير مريح لكل من يحب النظر إلى العلماء بوصفهم أشخاصًا يتصفون بالنزاهة والموضوعية وينأون بأنفسهم عن الجدال السياسي. ترى سالي أن التغيرات المناخية ناتجة عن الشمس لا عن النشاط البشري؛ وقد عارضت اتفاقية كيوتو ونتائج اللجنة الدولية المعنية بتغير المناخ. هي شخص مفضل من جانب بيوت الخبرة المحافظة، وحظيت بتمويل لأبحاثها من شركة «إكسون موبيل» ومعهد البترول الأمريكي.

قد يكون النظر إليها كدُمية تحركها الشركات وتسبح ضد تيار الأدلة الغامر عن التغير المناخي أمرًا مغريًا، لكن سالي تجسد بعض الأسئلة المثيرة للاهتمام عن العلم: إلى أي مدى يتأثر العلماء بالأيديولوجيات السياسية حين يفسرون البيانات؟ أليس تعرُّض التفسيرات السائدة للتشكيك فيها ظاهرةً صحيةً؟ ماذا لو كان هناك عدة آليات تساهم في التغير المناخي؟ وإذا لم نلم بكل ما يؤثر على كوكبنا أو شمسنا؛ أي كل ما يمد المحيط الحيوي بالطاقة ويحافظ على جميع أشكال الحياة على الأرض، ألا نخاطر بذلك بالتغاضي عن القضية الأساسية والتمسك بقضايا فرعية؟

* * *

(١) العيش مع نجم

(١-١) الطقس العاصف

في «رحلات جليفر» أخبرنا جوناثان سويفت عن الجزيرة الطائرة لابوتا، وهي أرض خيالية للفلاسفة وعلماء الفلك المهووسين بالسماء. كانوا يخشون أن يُغطى وجه الشمس بالبقع على نحو متزايد يحول دون وصول الحرارة والضوء الكافيين إلى العالم. وحين يقابل سكان جزيرة لابوتا شخصًا ما في وقت مبكر من اليوم لا يسألونه عن حاله، بل يسألونه: كيف بدت «الشمس» هذا الصباح؟

منذ ألفي عام، لاحظ فلكيو البلاط الإمبراطوري الصينيون الشوائب الموجودة على وجه الشمس وتتبعوها. وفي جميع الثقافات التي اعتمد فيها التنبؤ بحالة الطقس على

التغيرات الموسمية والشعبية كانت أي صلة واضحة بين شكل الشمس أو سلوكها والمناخ أمرًا ذا أهمية عملية شديدة. وفي عام ١٨٠١ أعلن سير ويليام هيرشل عن اكتشافه وجود علاقة بين عدد البقع الشمسية وسعر بوشل القمح؛ فحين كانت البقع الشمسية نادرة، كان سعر القمح مرتفعًا دائمًا. وقد ذهب إلى أن وجود عدد أقل من البقع على الشمس يعني نقصًا في الإشعاع المنبعث؛ مما يؤدي إلى ظروف نمو أسوأ، وانخفاض للإنتاج الزراعي، وأسعار أكثر ارتفاعًا وفق قانون العرض والطلب الذي لا يرحم.[١]

بعد مائتي عام لا تزال الشمس تُحير العلماء، الذين يحاولون استيعاب تأثيراتها على الأرض. يبلغ إجمالي الطاقة التي تصل إلى أعلى الغلاف الجوي ١٣٦٦ واطًا لكل متر مربع، وكأن مصباحًا ضوئيًّا مسلطًا لكل مساحة تماثل في حجمها قطعة الورق. على مدار الدورة الشمسية التي مدتها ١١ عامًا — وذلك وفق أدق قياساتنا — يتفاوت الناتج الشمسي بنسبة ٠٫١٪ فحسب. ذلك أداء متسق للغاية، وسيكون من الشاق عليك أن تلاحظ التباين في مصباح ضوئي تغيرت طاقته من ٩٩٫٩ واطًا إلى ١٠٠٫١ واط. وهذا لن يغير درجة الحرارة إلا بمقدار ٠٫٠٥ مئوية (٠٫٠٩ فهرنهايت)، لكن نماذج المناخ غير مؤكدة بدرجة كبيرة، وتتنبأ الصور المختلفة منها بأن الشمس يمكن أن تكون السبب وراء نسبة تتراوح من ١٠ إلى ٣٠٪ من الاحترار العالمي الذي وقع حديثًا.

تخفي تفاوتات الضوء المتواضعة حقيقة أكثر عمقًا: إن الشمس مولد للطاقة، بكل معنى الكلمة؛ فالبقع الشمسية هي مساحات ذات درجة حرارة سطح منخفضة تشهد تركيزًا قويًّا للمجالات المغناطيسية. ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي للشمس بأكمله مع كل ذروة في دورة البقع الشمسية، ومع أن الإشعاع ذا الطول الموجي القصير لا يمثل سوى نسبة يسيرة من إجمالي الناتج الشمسي، فإنه يتباين بصورة مثيرة، مخلفًا آثارًا معقدة وعميقة على مناخ الأرض وغلافها الجوي. وعلى مدار الدورة الشمسية يتفاوت مقدار الأشعة فوق البنفسجية أكثر من تفاوت الضوء المرئي بنحو ١٥ ضعفًا، ولهذه الفوتونات المحملة بالطاقة تأثير بالغ على طبقة الأوزون.

إن التأثيرات الثانوية المرتبطة بالبقع الشمسية هائلة؛ إذ تقذف الشمس من سطحها بحلقات من البلازما أكبر في حجمها من الأرض، وبهذا تصل بين خطوط المجال المغناطيسي؛ مما يحرر طاقة تعادل مليار قنبلة ذرية، ويحدث تدفق هائل للغاز من سطح الشمس يطلق عليه اسم «الانبعاثات الكتلية الإكليلية». عند وقوع مثل هذا الوهج الشمسي يتحتم على رواد الفضاء على متن المحطات الفضائية أن يحتشدوا في مساحة

واقية لتجنب تلف الخلايا. وحين تحدث الانبعاثات الكتلية الإكليلية يتبقى لنا عدة أيام كي نستعد للهجوم الذي سوف يُشن على الأقمار الصناعية ونظم الطاقة لدينا. تسبب الانبعاثات المعتدلة ظاهرة الشفق القطبي ذات الشكل الأخاذ، أما الانبعاثات الأكثر حدة فتتسبب في أضرار بشبكة الطاقة الكهربائية تقدر بمليارات الدولارات.

ما لم تكن في الفضاء، فلن يهدد أي شكل من هذا السلوك حياتك، لكن هذا العنف يذكرنا بأن الشمس ليست مجرد نجم مستقر باهت. أطلق وهج شمسي — يقع بهذه الشدة مرة كل ألف عام — حدث عام ١٨٥٩ شفقًا قطبيًّا شديد السطوع، حتى إن قاطني إنجلترا كانوا يستطيعون القراءة في ضوئه، وكان شديد الانتشار، حتى إنه شوهد في جزر الباهاما وهاواي. وتمر بعض النجوم المماثلة للشمس بـ «توهجات عظمى» تحمل من الطاقة ما يزيد على ١٠ إلى ١٠٠ مليون مرة عن أقوى وهج جرى رصده على الشمس، ومن شأنها أن تدمر طبقة الأوزون على نحو شبه مؤكد، ومن ثم تتسبب في خلل السلسلة الغذائية. ومن حسن حظنا لا يبدو أنها تحدث إلا عندما يتشابك المجال المغناطيسي لكوكب عملاق موجود في مدار قريب مع النجم، وليس لكوكب عطارد صغير الحجم أي مجال مغناطيسي.

جمعت وكالة ناسا برامجها الشمسية تحت مسمى «العيش مع نجم» (وكأن أمامنا اختيار). البعثة الفضائية الرئيسية هي القمر الصناعي «سوهو» (مرصد الشمس وغلافها). غيَّر هذا القمر الصناعي عظيم الشأن من رؤيتنا للغلاف الداخلي والخارجي للشمس والرياح الشمسية. وأثناء وقت «فراغه» اكتشف ما يزيد عن ألف مذنب شديد القرب من الشمس. تعمل «الشبكة العالمية لمراقبة نبضات الشمس» من خلال ستة أجهزة تصوير شمسي موزعة في جميع أنحاء الكرة الأرضية تراقب الشمس على نحو مستمر، وتصدر تحذيرًا حال حدوث شيء. إن الكشف عن السمات الظاهرية يعطي صورة مفصلة للجزء الداخلي من الشمس.

تستخدم أجهزةُ إعداد النماذج الشمسية أجهزةَ كمبيوتر قوية لتحويل البيانات إلى رؤية ثلاثية الأبعاد للشمس، وباستطاعتها أن تتنبأ بالانبعاثات الكتلية الإكليلية؛ حين تلتوي خطوط المجال المغناطيسي بشدة، حتى إنها تنقطع كشريط مطاطي، وتقذف بمليارات الأطنان من البلازما تجاه الأرض بسرعة مليون ميل في الساعة. وكانت هذه الأجهزة دقيقة في تنبئها بشكل هالة الشمس أثناء الكسوف الكلي للشمس في مارس عام ٢٠٠٦.

تتجلى القوة المذهلة للشمس وأهميتها المحورية لوجودنا على نحو شديد الوضوح أثناء الكسوف الشمسي. ومع أنني لست من «المهووسين» بالكسوف مثل بعض زملائي، فقد حالفني الحظ بأن أرى الكسوف الكلي للشمس عدة مرات. وهو مبهر للغاية حين يحدث على الماء. حين كنت بالقرب من الجسر، وأنا على متن سفينة سياحية قريبة من باجا بكاليفورنيا عام ١٩٩١، شاهدت الظل يمرق عبر المياه الممتدة متجهًا نحونا، وخيم بعدها الصمت والذهول على مئات المشاهدين. وعند الظهيرة في تلك المنطقة المدارية، بدا الأمر وكأن قبضة يد اخترقت السماء محدثة ثقبًا أسود فوقنا. وفي عام ٢٠٠٦ كنت قبالة ساحل تركيا على متن سفينة تبحر بهدف العثور على فرجة بين السحب لمشاهدة الكسوف. كنا على بعد مائة ميل من موقع كسوف شهير وقع عام ٥٨٥ قبل الميلاد، حين كتب هيرودوت أن قبيلتين متحاربتين، الميديين والليديين، أصابهما الذعر والارتباك حين أظلمت السماء. وضعت القبيلتان أسلحتهما وسط المعركة وأعلنتا السلام. كنت أشاهد باستمتاع والمشاهدون يحتشدون على جانب السفينة، ويدفع بعضهم بعضًا للتمتع برؤية أفضل، على الرغم من أنه لم يكن أحد جانبي السفينة أقرب إلى الشمس المظلمة من الآخر.

(١-٢) دهاء النار والجليد

سكان لندن يتزلجون على نهر التيمز. الأنهار الجليدية السويسرية تتقدم نحو المزارع وتسحق قرى بأكملها. الجيش السويدي يزحف مسافة ٣٢ كيلومترًا على بحر متجمد كي يغزو الدنمارك. الأسطول الهولندي حبيس أحد الموانئ مدة ستة أشهر. عدد سكان آيسلندا انخفض إلى النصف بسبب تجمد مياه البحر حولها مسافة كيلومترات، مما ألحق ضررًا شديدًا بالاقتصاد. سكان نيويورك يسيرون على الجليد من مانهاتن إلى جزيرة ستاتين. الطيور تتساقط من فروع الأشجار، متجمدة حتى الموت.

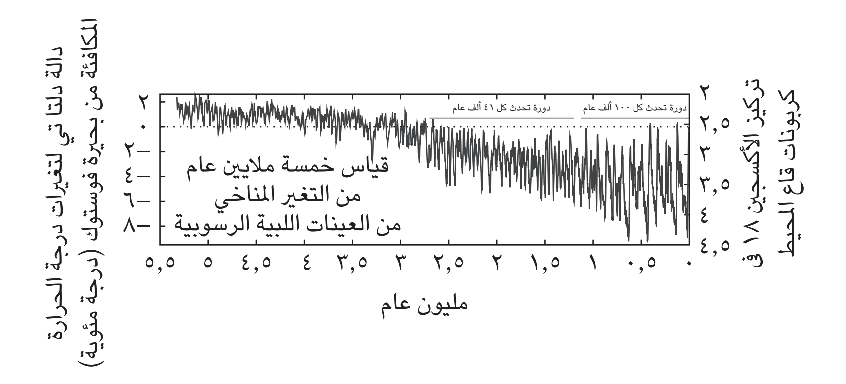
كانت هذه مشاهد من «العصر الجليدي الصغير» الذي سبَّب مواسم شتاء قاسية عبر دوائر العرض الشمالية في منتصف القرن السابع عشر، وهو يتزامن تقريبًا مع ما أطلق عليه اسم فترة غياب البقع الشمسية، وهي الفترة من عام ١٦٤٥ حتى ١٧١٥ التي كان فيها عدد البقع الشمسية منخفضًا على نحو غير معتاد. قد تظن أن الشمس دون البقع الشمسية ستجعل الأرض أكثر دفئًا لأن البقع الشمسية مظلمة، لكن المناطق الساطعة المحيطة بالبقع تعوض هذا التأثير على نحو كبير؛ من ثم تكون الشمس فعلًا

أكثر عتامةً عند غياب البقع الشمسية، ومع ذلك فالقصة الكاملة أكثر تعقيدًا؛ لأن الشمس الخالية من البقع ستخفض درجات الحرارة بمقدار ٠٫٥ درجة مئوية فحسب (درجة واحدة فهرنهايت)، وهو أقل مما مرت به أوروبا. علاوة على ذلك، كان العصر الجليدي الصغير مقصورًا على نصف الكرة الشمالي، وبدأ في وقت مبكر يرجع إلى القرن الثالث عشر، مع وصول درجات الحرارة إلى أقل معدلاتها في الأعوام ١٦٥٠ و١٧٧٠ و١٨٥٠. لعب النشاط البركاني المتزايد دورًا في هذا الأمر، وربما أسهم في الأمر أيضًا توقف ظاهرة «سير المحيط المتحرك العظيم» التي تسمح لأوروبا بأن تستمتع بدفء تيار الخليج.

على مدار مقاييس زمنية أطول، كانت التغيرات في مخرجات الشمس مهمةً، لكن تعين قياسها بصورة غير مباشرة قبل عصر التليسكوبات. يعتبر الكربون ١٤ المشع وسيلة قياس ممتازة؛ إذ يتكون حين تنهمر الأشعة الكونية من الفضاء على الأكسجين في الطبقة العلوية من الغلاف الجوي، ثم يُدمج في حلقات الأشجار. ثمة عنصر آخر هو البريليوم ١٠ الذي يمكن قياسه في طبقات الجليد القطبية. يحمي المجال المغناطيسي الشمسي الأرض من الأشعة الكونية؛ لذا حين يكون النشاط الشمسي والبقع الشمسية منخفضين يتكون كم أكبر من الكربون ١٤ والبريليوم ١٠ ويترسب، وينخفض تركيزهما حين يكون النشاط الشمسي مرتفعًا. وكلا العنصرين يؤكد حدوث فترة غياب البقع الشمسية ويوضح أن النشاط الشمسي على مدار الأعوام السبعين الماضية مرتفع بنفس المقدار الذي كان عليه على مدار الثمانية آلاف عام الماضية. ليست تبعات تغير النشاط الشمسي على المناخ واضحة لأن الاقتران غير مباشر ومعقد.

تعد فترة العشرة آلاف عام قطرة في بحر الزمن الجيولوجي، وقد كانت العشرة آلاف عام الماضية فترة دافئة أطلق عليها اسم الهولوسين، وهي الفترة التي تبعت ذروة العصر الجليدي الأخير منذ ٢٠ ألف عام. تقدم لنا الطبقات الرسوبية والجليدية القديمة سجلًا كاملًا للتغيرات على مدار ٥ ملايين عام (الشكل ٨-١). شهدت المليون عام الأخيرة تحديدًا تغيرات مفاجئة في المناخ، مع تفاوت فاق ١٠ درجات مئوية (١٨ درجة فهرنهايت)، وهو ما يزيد عن المقدار الذي نقلق أن يتسبب به الاحترار العالمي الحالي الذي يتسبب به البشر.

الشمس مسئولة جزئيًّا عن هذه التغيرات، وذلك بطريقة دقيقة ترتبط بالتغيرات في مدار الأرض، فمنذ مائة عام خمن عالم الرياضيات الصربي ميلوتين ميلانكوفيتش أن العصور الجليدية نتجت عن مجموعة من التغيرات الدورية: التغير الذي يحدث كل



شكل ٨-١: التغيرات المناخية العالمية على مدار الخمسة ملايين عام الماضية، كما هي مقاسة من ٥٧ موقعًا للعينات اللبية الرسوبية في قاع المحيطات، وقياس تركيز النظائر المشعة في الطلائعيات صغيرة الحجم الموجودة بالمياه الباردة (المقياس الأيمن الذي يجسد بصورة بيانية درجة تركيز معدن حساس لدرجة الحرارة خضع للأيض من الكائنات في المحيطات). هذا يمكن ربطه بتغيرات درجة الحرارة العالمية المستدل عليها من العينات اللبية للصفائح الجليدية من بحيرة فوستوك، القارة القطبية الجنوبية (المقياس الأيسر الذي يبرز تغير درجة الحرارة على مستوى العالم من عينات الصفيحة الجليدية في مكان واحد). وجرى تمييز المناطق التي تظهر فيها دورتا ميلانكوفيتش اللتان تحدثان كل ٤١ ألف عام و١٠٠ ألف عام. (Robert A. Rohde, UC Berkeley, and Global Warming Art)

١٠٠ ألف عام في الدرجة التي ينحرف بها مدار الأرض حول الشمس عن إحدى الدوائر، والتغير الذي يحدث كل ٤١ ألف عام في ميل محور الأرض بالنسبة للشمس، والتواء محور دوران الأرض الذي يحدث كل ٢٣ ألف عام مع الدوران السريع للكوكب حول نفسه. كل هذه التأثيرات تغير قدر الإشعاع الذي يتلقاه كل مكان بعينه على السطح. وتجتمع الإيقاعات الكونية المتكررة لتوجد نمطًا معقدًا من البرودة والتدفئة.

وكما هو الحال مع جميع التغيرات المناخية، تلعب عوامل أخرى دورًا، مثل النشاط البركاني والارتطامات ودوران المحيطات؛ لأن العصور الجليدية ليست منتظمة على نحو ما تتنبأ به نظرية ميلانكوفيتش، وقد كانت الدورة التي تحدث كل ١٠٠ ألف عام هي الأقوى على مدار المليون عام الماضية في حين تذهب النظرية إلى أنها يجب أن تكون

الأضعف.[٢] لكن بصرف النظر عن الآلية، لم يكن أسلافنا الذين عاشوا على امتداد ملايين السنوات القليلة الماضية ليقلقوا بشأن ارتفاع طفيف في درجة حرارة العالم.

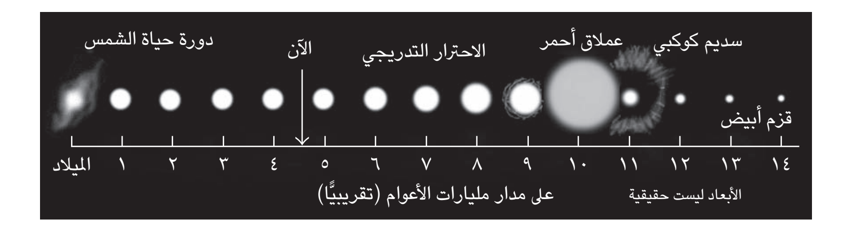
(١-٣) خاتمة قوية حقًّا

كل ما سبق هو مجرد طريقة للالتفاف حول حقيقة أكبر؛ أن الشمس لن تعيش إلى الأبد. ولأول مرة منذ بدأنا النظر للكيفية التي سنموت بها نواجَه بما هو محتوم، وليس بما هو مرجح وحسب. وسوف تتسبب نهاية الشمس في مشكلة هائلة لنا، أو لأي مخلوقات قد تكون موجودة حين يقع المحتوم.

إن وصفنا للشمس بأنها نجم عادي وصف صحيح، لكن فيه إفراط في التبسيط؛ فهناك نجوم أصغر وأخرى أكثر ضخامة، ونجوم أكثر سخونة وأخرى أكثر برودة، ونجوم أقصر عمرًا وأخرى أطول عمرًا. لكن إذا صنفنا الشمس حسب الكتلة أو السطوع، فستحقق مكانة مبهرة حقًّا؛ إذ ترد ضمن أعلى ١٥٪ من النجوم. وليس هناك ما هو عادي في كرة من الغاز تتسع لمليون أرض ويزيد، وتحول ٦٣٥ مليون طن متري من الهيدروجين إلى هيليوم كل ثانية، وحولت ما يعادل كتلة ١٠٠ كوكب أرض إلى طاقة صافية وفق معادلة أينشتاين الأنيقة «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء»، وتزود غلافنا الحيوي بالطاقة ونحن على بعد ١٥٠ مليون كيلومتر عنها ونتعرض لجزء من المليار من إشعاعها.

تستمد الشمس طاقتها من عملية الاندماج النووي نفسها التي نستخدمها في أسلحتنا الأكثر ترويعًا. لكن ليست الشمس قنبلة؛ إذ تظل منتفخة وذات حجم ثابت لأنه بكل مكان داخلها ثمة توازن مثالي بين الجاذبية التي تسحب للداخل والضغط الناتج عن تفاعلات الاندماج الذي يدفع للخارج. ومع تراكم الهيليوم — ناتج الاندماج النووي — في مركز الشمس، ينضغط وتزداد حرارته أكثر، وهذا يزيد من معدل الاندماج الكلي. وهكذا يتزايد حجم الشمس وسطوعها على نحو ثابت، وهو ما استمر مدة ٤٫٥ مليارات عام (الشكل ٨-٢).

وضع جيم كاستينج، الأستاذ بجامعة بنسلفانيا، أفضل النماذج التي تناولت سطوع الشمس مع تقدمها في العمر. في غضون نصف مليار عام سيزيد الاحترار من معدل التجوية، وبهذا ينتقل ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي إلى المحيطات. ومن قبيل المفارقة، في ضوء القلق الحالي بشأن الاحترار الناتج عن زيادة ثاني أكسيد الكربون،



شكل ٨-٢: رسم بياني لدورة حياة الشمس. نحن نقف تقريبًا في منتصف التفاعل الرئيسي الذي يتحول فيه الهيدروجين إلى هيليوم. بعد ذلك، تمر الشمس بسلسلة من التغيرات المشوشة ويتغير تركيبها، وتبحث عن مصادر جديدة للطاقة. وفي النهاية، تستنفد الشمس كل مصادر الطاقة النووية وتبرد إلى الأبد كقزم أبيض. (Tablizer, Wikipedia GNU License and Creative Commons License)

فإن وجود قدر قليل للغاية من ثاني أكسيد الكربون يعد أمرًا أسوأ. ستنخفض درجة تركيز ثاني أكسيد الكربون بدرجة شديدة، حتى إن التمثيل الضوئي في معظم الأشجار والنباتات سيتوقف. ستواصل بعض النباتات التي تركز الغاز لنفسها — كقصب السكر والحشائش المدارية — دورها ببسالة، لكن المحيط الحيوي سيتلف على نحو لا براء منه.

بعد ذلك ستصير فاجعة بكل معنى الكلمة. ستذوب القلنسوات الجليدية، وتشهد المناطق الاستوائية الفيضانات، وترتفع درجة الحرارة هناك إلى مستوى غير محتمل للعديد من الحيوانات. ستتبخر مياه المحيطات شديدة الدفء إلى طبقة الستراتوسفير وتبدأ في التسرب في الفضاء، وستواصل المحيطات التبخر. سيصير الكوكب بأكمله صحراء جافة. سيتمكن الإشعاع القاسي المنبعث من الشمس مرتفعة الحرارة آنذاك من تحرير ثاني أكسيد الكربون من الرواسب في قاع المحيطات، ليزيد أكثر من درجة حرارة الكوكب. وأخيرًا، حتى ذلك الغاز سيسخن لدرجة التبخر في الفضاء. وبعد حوالي ٣٫٥ مليارات عام من الآن ستكون الأرض صخرةً جافةً.

يتصف السجل الزمني بتناسق غريب ومخيف، ونحن نمثل قمة تاريخ الحياة ومركزه. وكما أشار بيتر وارد ودون براونلي في كتابهما «حياة كوكب الأرض ووفاته» ستعود الهيمنة الميكروبية التي أفضت إلى الحياة المعقدة، بعد فناء الحيوانات والنباتات بسبب الظروف القاسية. وإن استطاعت الأنواع أن تتطور للعيش تحت الأرض أو

تحت قاع البحر فقد يستمر المحيط الحيوي حتى ذلك الوقت المجدب الذي تعد صحراء أتاكاما المقفرة الحالية أشبه بالجنة الوارفة قياسًا به. سيكون آخر سلف مشترك هو آخر سليل مشترك، وربما يكون أحد الكائنات القوية الناجية كبكتيريا «ديسولفورودس أوداكسيفاتور» التي تقبع في الصخور مستمتعة بالوهج الإشعاعي.

ليست الشمس ضخمة بما يكفي كي تموت كمستعر أعظم، لكن سيظل في جعبتها عدد قليل من الحيل. سينضغط مركز الشمس على نفسه ويسخن بفعل الهيدروجين غير المندمج حتى مرور ٥٫٥ مليارات عام من الآن، وحينها سيشتعل ذلك الغطاء الهيدروجيني وتصير الشمس نجمًا شبه عملاق يصل في الحجم إلى ضعف حجمه الحالي. بعد ذلك، وبعد مرور حوالي ٧٠٠ مليون عام، يحل الفصل الختامي. ليس المقصود النهاية الفعلية، بل اللحن الختامي المتصاعد الذي يتسم بالحرارة الشديدة والتفاعل العنيف لآخر ذرات الشمس. ينضغط مركز الشمس ويزداد سخونة حتى لا يسعه أن ينضغط أكثر من ذلك، وتطرد الحرارة الطبقات الأكثر برودة من الشمس، محولةً إياها إلى عملاق أحمر منتفخ. وعند ذروتها، ستكون الشمس أكبر حجمًا مما هي عليه اليوم بما يعادل ٢٥٠ مرة، وأكثر سطوعًا بما يعادل ٢٧٠٠ مرة.

أما ما سيحدث للأرض فيعتمد على التسابق بين تأثيرين؛ ففي حين تنتفخ الطبقات الخارجية للشمس للخارج تتخلص الشمس من ثلث كتلتها، وبهذا تضعف قبضة جاذبيتها وتبدأ الكواكب في اتخاذ مدارات حلزونية إلى الخارج. لكن الطبقات الخارجية التي تصل حرارتها إلى ٢٧٦٠ درجة مئوية (٥ آلاف درجة فهرنهايت) ستندفع خلال المجموعة الشمسية متجهة نحو الأرض. ستتحدد النتيجة بعد مرور قرابة ٧٫٦ مليارات عام، لذا لا تنسَ أن تعد الخطط بشأن ممتلكاتك.

ترسم الحسابات الحالية صورةً كئيبةً. من على الأرض، ستكبر الشمس ذات اللون الأحمر الزاهي في الحجم حتى تملأ السماء. ومع أننا نبتعد عن الشمس فإنها تتقدم نحونا بسرعة أكبر، وقد تطول ألسنة اللهب كوكبنا. سيبطئ الاحتكاك الناتج عن الحركة خلال الطبقات الخارجية للشمس من مسارنا وتهوي الأرض نحو الشمس على نحو لا يمكن إيقافه.، ثم تبتلع الشمس الأرض.

(١-٤) وداعًا أيتها الماسة المجنونة

يبدو المقطع الختامي لهذه السيمفونية صاخبًا. ستغمر قوى الاحتكاك والجاذبية كواكب الأرض والزهرة وعطارد وتجذبها نحو الشمس. سينجح المريخ في الفرار بالكاد، بعد أن

تلتهم الشمس أقرب أبنائها. لكن دعونا نواصل الحديث لأنها لا تزال قصتنا؛ فالأرض المتبخرة هي جزء من قلب الشمس الحزين.

ماذا يحدث حين تحل النهاية؟ على عكس البشر، لا تبطئ النجوم من سرعتها مع تقدمها في العمر، فهي تلفظ أنفاسها الأخيرة على نحو معقد وفي إنشاد زاخر بالانفعال. ودليلنا إلى وفاة الشمس هو كاتي بيلاتشوسكي. كانت كاتي أحد كبار أفراد طاقم العمل في «المراصد الوطنية» لمدة ٢٠ عامًا، وهي تعلم الكثير عن الحياة الداخلية للنجوم. هذه السيدة النحيلة التي يبلغ طولها بالكاد خمس أقدام ويكسو رأسها هالة من لفات الشعر الأسود كانت نموذجًا عظيمًا للنساء في علم الفلك. وكرئيسة للجمعية المهنية لعلماء الفلك كانت تجلس فوق دليلين للهاتف كي تحظى برؤية أفضل لزملائها وتدير الاجتماعات في ثقة يشوبها الهدوء والحزم.

تصف كاتي العواقب التي تعود على الأرض بأسلوب رصين، وتقول: «سننتهي داخل الشمس لتتبخر مادتنا وتمتزج بمادة الشمس. بعد ذلك سينفجر جزء من الشمس بعيدًا في الفضاء؛ لذا يمكن القول إن الأرض ستُحرق ويُنثر رمادها في الفضاء النجمي.» ومثلما هو الحال في كل مرحلة من مراحل حياة أي نجم، يكون لكل من الجاذبية والضغط الناتجين عن التفاعلات النووية تأثيران متعارضان. لكن على عكس حالة التعادل القائمة عبر أحد عشر مليار عام جرى فيها تحويل الهيدروجين إلى هيليوم، يحظى الآن أحد الجانبين بميزة مؤقتة، ثم تذهب الميزة إلى الطرف الآخر. كان المصارعان ممسكين أحدهما بالآخر في حالة توازن، لكن الآن صارا يتمايلان على نحو خطير من جانب لآخر تمهيدًا لأن يطيح أحدهما بالآخر.

إن الشمس مصابة بالفصام؛ فغلافها الخارجي يبرد ويقل في المساحة وينكمش مركزها ويصل إلى درجة حرارة فائقة تبلغ ١٠ ملايين درجة مئوية (١٨٠ مليون درجة فهرنهايت). ولكي تتجنب الشمس الجاذبية تبدأ تفاعلًا نوويًّا حراريًّا جديدًا، وتحول الهيليوم إلى كربون. تتميز هذه المرحلة الانتقالية الجديدة بوميض هائل ويزيد ناتج طاقتها بنحو ١٠٠ مليار ضعف الناتج المعتاد من الطاقة. بعد ذلك تتقلص إلى حالة أكثر عتامة وأصغر حجمًا وأكثر سخونة مما مرت به كعملاق أحمر. وبفضل تكوينها للهيليوم، بالإضافة إلى القليل من الأكسجين والنيون، تكسب الشمس عددًا أكبر من السنوات يصل إلى مائة مليون عام. تبلغ درجة حرارة مركز الشمس الآن ٣٠٠ مليون درجة مئوية (٥٤٠ مليون درجة فهرنهايت).

حين ينفد الهيليوم يكون للجاذبية اليد العليا وتفرض انهيارًا جديدًا لمركز الشمس، وهو ما يطلق اندماجًا نوويًّا عنيفًا وغير مستقر. تقع سلسلة من أربعة اضطرابات عنيفة يفصل بين كل منها ١٠٠ ألف عام فحسب. تتموج تفاعلات الاندماج النووي عبر الطبقات الخارجية وتصل الشمس إلى ذروة سطوعها على مدار حياتها؛ إذ تزيد في سطوعها ٥٢٠٠ مرة عن سطوعها الحالي. هذه شهقة الموت. وفي ذروة احتضارها ستلفظ الشمس أنفاسها الأخيرة على صورة عدد من خيوط الغاز المضيء المنبعث في النطاق الخارجي للمجموعة الشمسية وما وراءه، وسيكون الوهج الأخضر والأحمر صورة متواضعة للسديم الكوكبي الجميل الذي صوره «تليسكوب هابل الفضائي». ليس من الواضح أين سيكون المكان الأمثل لمشاهدة هذا العرض. ستبتلع الشمس المريخ. وتتبخر محيطات القمر يوروبا ويتفحم القمر تيتان. ربما يكون بإمكان أولئك الذين كانوا بالذكاء الكافي بحيث انتقلوا للعيش على سطح قمر تريتون التابع لكوكب نبتون أن يشاهدوا المرحلة الأخيرة بارتياح نسبي.

في ضوء حرمان الشمس من غلافها ومن أي وقود نووي جديد، ينكمش قلبها بحيث لا يتجاوز آلافًا قليلة من الأميال. تسطع الشمس على نحو رائع وتشع حرارة تزيد عن ٢٠٠ ألف درجة مئوية (٣٦٠ ألف درجة فهرنهايت)؛ بمعنى أنها ستصير قزمًا أبيض. حين كتبت فرقة بينك فلويد أغنية «اسطعي أيتها الماسة المجنونة» كان عنوان الأغنية بمنزلة استعارة مزدوجة. كانت الأغنية مهداة للمغني سيد باريت؛ أحد مؤسسي الفرقة الذي تألق على نحو ملحوظ ثم ضاع في ظلمات المخدرات والجنون. كانت الأغنية أيضًا أنشودة شكر للمراحل الأخيرة من تطور النجوم.

توجد المادة الغنية بالكربون التي تحملها هذه الجمرة التي تفقد حرارتها في حالة غريبة ما بين الجرافيت والماس، وهي كثيفة للغاية، حتى إن حفنة منها ستزن أكثر من وزن طائرة نفاثة ضخمة. وبفعل الفقدان المتواصل للحرارة يخبو ضوء الشمس على نحو جميل من الأبيض إلى الأصفر إلى الأحمر الباهت ثم إلى الأسود.[٣]

(٢) الانتقال إلى خارج الأرض

(٢-١) مستقبلنا في الفضاء

إن خذلتنا الأرض والشمس، وكان هناك نوع مستقبلي على درجة كافية من الذكاء بحيث يفعل شيئًا حيال هذا الأمر، فإن أفضل رهان هو الانتقال خارج الأرض. كان السفر

عبر الفضاء حتى هذه النقطة أمرًا بدائيًّا إلى حدٍّ ما، فالصواريخ ما هي إلا ألعاب نارية، وتعيَّن على رواد الفضاء الأوائل أن يرتدوا حفاضات. جرب نحو ٥٠٠ شخص إثارة الابتعاد عن الأرض، وخمسة بالمائة منهم ماتوا (لوضع الأمر في منظوره الصحيح، هذا أقل من معدل الوفيات الذي سجل بين ٢٧٠٠ شخص تقريبًا تسلقوا قمة إفريست والبالغ ١٠٪). ومن وجهة نظر كثير من المتخصصين في علوم المستقبل وأصحاب الرؤى المستقبلية، كان برنامج الفضاء مخيبًا للآمال؛ إذ طغت الإخفاقات على الانتصارات.

من منظوري الشخصي، لم أنجذب دومًا للأفكار المستقبلية من قبيل الاستعاضة عن الطعام بأحد الأقراص، وأن أشاهد التليفزيون على ساعتي، أو أن تكون لي سيارة حوامة، لكنني أرغب بشدة في أن أجرب الذهاب إلى الفضاء أو أن أطأ بقدمي عالمًا آخر قبل أن أموت. ومع التقدم شديد البطء لاستكشاف الفضاء وعدم قدرتي على تقديم أكثر من ٢٠ مليون دولار إلى وكالة الفضاء الروسية، يبدو أن هذه المتع ستنتظر أبنائي أو أحفادي على الأرجح.

ما الذي لم يَسِر على النحو الصحيح؟ لقد ولد برنامج الفضاء من رحم التنافس بين القوتين العظميين، وظلت تديره طيلة عقود بصورة حصرية الوكالات الحكومية لدولتين فحسب. ليست هذه وصفة للكفاءة أو الابتكار. كسبيل لاكتساب المعرفة عن الكون تمدنا أجهزة الاستشعار عن بعد بمعلومات ذات تكلفة أقل بكثير من تكلفة استكشاف الفضاء. وأي تليسكوب كبير يمكنه أن يرى النجوم على امتداد نسبة ٩٥٪ من الزمان الكوني، ويصور بدقة بنية المجرات، ويقيس وفرة العناصر التي هي أندر من الهيدروجين تريليونات المرات، بالإضافة إلى اكتشاف الكواكب حول النجوم البعيدة. على النقيض، تعتمد وكالة ناسا على مكوكات فضاء يبلغ عمرها ٣٠ عامًا، وقد تحطم اثنان من بين خمسة منها إثر فشل كارثي، مما أدى إلى وفاة ١٤ فردًا من طاقمَي المكوكين. وبفضل سفن الفضاء استطاعوا أن يضعوا ١٢ رجلًا على سطح القمر، وأن يجلبوا نحو ٥٠٠ كيلوجرام من الصخور، لكن الأمر كان صعبًا ومكلفًا للغاية، حتى إننا لم نعد للقمر طيلة ٤٠ عامًا تقريبًا.

قد يبدو هذا التقييم جائرًا، لكن ليس تمامًا، فطيلة العقود الثلاثة الأولى كان برنامج الفضاء أحد صور المنافسة في الحرب الباردة. والآن نرى شبح هذا التنافس في ظل ظهور الصين كقوة فضائية، لكن المشهد الأكبر يشمل مشاركة أطراف خاصة وتجارية. إن استكشاف الفضاء يترك طور ميلاده المؤلم، واحتمالات المستقبل مشرقة للغاية.

في الولايات المتحدة، فُتح الباب أمام هذه المشاركة بموجب قانون الإطلاق التجاري لمركبات الفضاء الذي صدر عام ١٩٨٤، وقانون صدر عام ١٩٩٠ حرر الفضاء من القيود الحكومية، وأتاح شروط منافسة متساوية بين وكالة ناسا والشركات التجارية. وبحلول عام ١٩٩٧ خصخصت روسيا معظم وكالاتها المرتبطة بالإطلاق الفضائي. أدركت وكالة ناسا أنها تحتاج إلى شركاء من القطاع الخاص لتحقيق أهدافها، وفي عام ٢٠٠٦ أعلنت الوكالة حصولها من القطاع الخاص على تمويل قدره ٥٠٠ مليون دولار من أجل التطوير، وفي عام ٢٠٠٨ منحت العقود الأولية. وقد تسببت الاختلافات الثقافية بين الموظفين الحكوميين وأصحاب المشروعات الخاصة في بعض التوتر بالفعل!

احتضنت صحراء موهافي برنامج الفضاء الخاص، حيث كان بيرت روتان يحلم بالفضاء. ومثل بطله فيرنر فون براون، بدأ في بناء الصواريخ وهو طفل. غيرت تصميماته من طريقة تصنيع الطائرات الخفيفة، وحطمت الأرقام القياسية للمسافات الطويلة للطائرات الصغيرة الآلية. أسس روتان شركة «سكيلد كومبوزيتس» عام ١٩٨٢، وفي عام ٢٠٠٤ فازت الطائرة التجريبية التي بناها في الصحراء بجائزة «أنساري إكس» لإطلاق رحلتين مأهولتين حتى حافة الفضاء على متن مركبة قابلة لإعادة الاستخدام. لم يكن روتان يسعى للمال؛ إذ تكلف أكثر من ١٠٠ مليون دولار كي يفوز بجائزة إكس التي تبلغ قيمتها ١٠ ملايين دولار، لكن الفكرة تكمن في إثارة المنافسة عن طريق جائزة عامة أعدت على شاكلة جوائز الطيران الناجح التي كانت موجودة في أوائل القرن العشرين.

الآن صارت الأبواب مفتوحة، ويحتشد رواد الأعمال عبر الإنترنت من أجل الاستثمار في الفضاء، والبعض يدفعون لمجرد أن يكونوا من سائحي الفضاء. سجلت وكالة الطيران الفيدرالية ١٨ شركة للعمل على أجهزة الإطلاق منخفضة التكلفة. تحقق هدف الطيران المداري، وتعتزم شركة تحمل اسم «سبيس آيلاند جروب» بناء محطة فضائية خاصة ذات أماكن إقامة مؤجرة. وانخفضت تكاليف إطلاق الحمولات من ١٠ آلاف دولار لكل كيلوجرام إلى ألف دولار؛ أي حوالي ٧٠ ألف دولار للفرد البالغ، وإن شهدت هذه التكاليف مزيدًا من الانخفاض فسيصير حلم الصعود إلى الفضاء في متناول العديد من الأشخاص؛ بمن فيهم أنا وأنت. وآخر مسابقة كانت جائزة «جوجل لونار إكس»، التي يشار إليها اختصارًا بالاسم «مُون ٢٫٠»، والتي ستمنح ٢٠ مليون دولار لأي فريق يستطيع الهبوط بمركبة قمرية وتشغيلها بنهاية عام ٢٠١٢. لقد شهد العقد الماضي تقدمًا مذهلًا.

إن أصحاب الرؤى المستقبلية للفضاء في ثوبه الجديد ليسوا أشخاصًا غير واقعيين، بل هم علماء ومهندسون يتصفون بالجدية والواقعية مثل زميلي في الجامعة روبرت بوند. كان بوند يعمل بمختبر المملكة المتحدة للطاقة الذرية في كولهام على عمليات الاندماج النووي كمصدر للطاقة، لكن فاض به الكيل بسبب البيروقراطية الحكومية والوقوف المتكرر على طريق تحقيق أهدافه؛ لذا ترك وظيفته الحكومية وهو الآن يعمل لمصلحة شركة «ريآكشن إنجينز ليمتد»، وهي شركة خاصة تعمل على تصميم المركبات المدارية وتحت المدارية التي تستخدم محركًا نفاثًا هجينًا وصاروخًا يعمل بالوقود السائل. وقد تعين على هذه الشركة وغيرها من الشركات أن تخوض غمار سياسات دول الاتحاد الأوروبي التي لها استثمارات كثيرة في الصواريخ التقليدية غير القابلة لإعادة الاستخدام.

في أحد أيام الصيف المعتدلة تناولنا المشروبات في حديقته بالقرب من مدينة أكسفورد، وكان يتحدث بكل حيوية أثناء وصفه للتكنولوجيا التي يأمل في أن تجعل من السفر عبر الفضاء أمرًا روتينيًّا. روبرت رجل لطيف، كان يعزف على الجيتار في إحدى الفرق المتخصصة في غناء أغنيات السبعينيات خلال أيام نهاية الأسبوع، لكن الفضاء ليس هواية له، بل هو مسعى حياته. أَمَلْنا رأسنا للوراء ونظرنا لسماء الصيف الإنجليزي ذات اللون الأزرق الباهت وتخيلنا المستقبل.

لم يعد ادعاؤنا بأن مصيرنا سيكون في الفضاء يبدو أمرًا غير عقلاني. هكذا يعتقد ستيفن هوكينج، وقد حجز مقعدًا في الطائرة الفضائية «سبيس شيب تو»، وهي مشروع مشترك بين شركة روتان وشركة «فيرجن جالاكتيك» المملوكة للسير ريتشارد برانسون. وفي هذا الصدد يقول هوكينج: «أعتقد أن الجنس البشري لن يستطيع أن يجتاز الألفي عام التاليين إن لم ننتشر في الفضاء. هناك كم كبير للغاية من الحوادث التي يمكن أن تحل بالحياة على سطح كوكب واحد، لكنني متفائل. سنصل إلى النجوم.»[٤] على الرغم من التكلفة والصعوبات العملية التي نواجهها، فلا يزال الفضاء يلهمنا. تذكر كلمات أنطوان دي سان إكسوبيري: «إن كنت تريد بناء سفينة، فلا تحشد الأفراد معًا لجمع الحطب ولا تخصص لهم المهام والعمل، وإنما علمهم أن يشتاقوا لاتساع البحر الذي لا نهاية له.»

ماذا عن تجاوز كل هذا العمل الشاق و«إرسال» البشر من هذا الكوكب إلى كوكب آخر؛ تلك الحيلة التي استخدمها الخيال العلمي لمدة ٥٠ عامًا؟ إن الانتقال الآني للمادة هو نقل المعلومات الكاملة الخاصة بالمرء، ذرة بذرة، إلى مكان بعيد بسرعة الضوء.

واستخدام هذه التقنية سيتيح إمكانية الحياة المعلقة (تعطيل عمليات الحياة دون الوصول بالأفراد إلى حد الوفاة) وعمل نسخ احتياطية في حالة لم يَسِر شيء ما على ما يرام مع النسخة الأصلية. لوقت طويل كان الاعتقاد السائد هو أنَّ تعقد الحالات الكمومية قد يحول دون نقل وحدات المعلومات الكمومية؛ التي يطلق عليها اسم «البتات الكمومي». لكن في عام ١٩٩٣ نشر تشارلز بينيت، الباحث في شركة «أي بي إم»، شرحًا أنيقًا يوضح أن الانتقال الآني للمادة ممكن من حيث المبدأ.[٥]

لا يسهل تنفيذ مثل هذا الأمر في المختبرات. في عام ٢٠٠٩ برَّد كريستوفر مونرو وزملاؤه في «المعهد المشترك للأبحاث الكمية» ذرتين من الإيتربيوم حتى درجة الصفر المطلق تقريبًا، واستخدموا الموجات الميكروية لوضعها في حالة متشابكة.[٦] وبعد ذلك استخدموا الفوتونات من أجل «قراءة» حالة كل ذرة، مع أنه فصل بينهما بمسافة متر. أظهرت النتيجة أن المعلومات الكمومية يمكن فعلًا نقلها. لكن الأمر لم يصل إلى النحو الذي يبدو عليه في مسلسل الخيال العلمي «ستار تريك»، فلم تنجح سوى محاولة واحدة من بين كل ١٠٠ مليون محاولة للنقل الآني للمادة، واستغرق الأمر ١٠ دقائق لنقل بت واحد من المعلومات الكمومية عبر مسافة متر. وفي هذا قال مونرو: «نحن بحاجة للعمل على ذلك الأمر.»

(٢-٢) عوالم جديدة جريئة

على الأقل نحن نعلم ما نواجهه، فعلى مدار مقياس زمني يمتد مليار عام سنشهد اندماج القارات (مجددًا)، وانخفاضًا في مستوى ثاني أكسيد الكربون إلى ما هو أقل من المستوى المطلوب لدعم الحياة، يليهما غليان المحيطات، ويُشوى السطح ويصير مجدبًا، ثم دوامة الموت النهائية وسقوط كوكبنا داخل الشمس. لقد رأى علماء الفلك المستقبل، وهو ليس جيدًا. وفي عام ٢٠٠٨ عُثر على حطام من الصخور يدور حول نجم قزم أبيض يدعى «جي دي ٣٦٢»، ويحتمل أن ذلك الحطام هو بقايا لكواكب مدمرة.

ماذا لو أن بإمكاننا الانتقال إلى موطن أفضل؟ انتقلت فكرة إعادة التأهيل من الخيال العلمي إلى العلم الحقيقي بسلاسة. قدم أولاف ستابلدون أول وصف خيالي عام ١٩٣٠ حين أعيد تأهيل كوكب الزهرة في روايته الرائدة «الرجال الأوائل والأواخر». وحديثًا، مثلت إعادة التأهيل صلب ثلاثية «المريخ» لكيم ستانلي روبنسون. وترجع الريادة في طرح المناقشة العلمية لمفهوم إعادة التأهيل إلى كارل ساجان، الذي كتب عن

التغيرات التي يمكن عملها على الزهرة عام ١٩٦١ والمريخ عام ١٩٧٣. تُعرف إعادة التأهيل بأنها عملية تعديل بيئة أحد الكواكب أو الأقمار كي يكون مأهولًا بالبشر.

في ضوء حقيقة أن الشمس ستزداد حرارة، لنستبعد الزهرة من القائمة ونركز على المريخ. إن كوكب المريخ أبعد منا عن الشمس بنسبة ٥٠٪؛ لذا الانتقال إلى هناك قد يكسبنا قدرًا كبيرًا من الوقت أو يمنحنا ملاذًا إن أتلفنا الأرض تمامًا. وإعادة هندسة أحد الكواكب هي مشروع هائل، لكن وكالة ناسا تأخذ الفكرة على محمل الجد بما يكفي لأن تستضيف مؤتمرات عنها وتمول أولى دراسات التصميم المتعلقة بها (الشكل ٨-٣).



شكل ٨-٣: إن وجود قاعدة على سطح المريخ قد يكون أولى الخطوات تجاه إعادة تأهيل الكوكب الأحمر كي يصير ملائمًا لاستضافة البشر. قد تبلغ تكلفة إقامة قاعدة بسيطة فحسب مئات المليارات من الدولارات، ووجود خط إمدادات من الأرض إلى المريخ أمر مكلف للغاية؛ لذا تعتمد كل خطط إعادة التأهيل على التنقيب عن مواد محلية والتشييد على سطح المريخ من أجل العمل تدريجيًّا على جعل البيئة هناك صالحة للحياة. (NASA/Glenn Research Center)

ثمة ثلاث مراحل تجري خلالها إعادة التأهيل؛ أولًا: لا بد من جعل الكوكب قابلًا للحياة عليه. السطح على كوكب المريخ بارد وجاف ويعتقد أنه مجدب؛ لذا هذا يستلزم

منا زيادة درجة الحرارة وتكوين غلاف جوي أكثر سمكًا. كان روبرت زوبرين، مؤسس «جمعية المريخ»، وكريس ماكاي، عالم الأحياء الفلكي في «مركز أميس للأبحاث» التابع لوكالة ناسا، قد توصلا إلى الكيفية التي ربما يُجرى بها ذلك بالتفصيل. من المرجح أن تكلفنا أرخص الطرق مئات المليارات من الدولارات وتستغرق ٥٠ عامًا، وكل هذا فحسب من أجل خلق مستوى أساسي من قابلية استضافة الحياة الميكروبية. يكفي هذا لإصابتنا بالدهشة، لكن تذكر أننا نحاول إنقاذ العالم![٧]

يمكن أن نبني على سطح المريخ مرايا تمتد كمرآة واحدة متصلة على مساحة ٨٠ كيلومترًا ونضعها على قطبه الجنوبي من أجل تبخير ثاني أكسيد الكربون المتجمد، لكن مهام الهندسة المرتبطة بذلك صعبة. ويمكن توجيه الكويكبات التي تحتوي على الأمونيا والماء نحو المريخ من نطاق المجموعة الشمسية الخارجي، مع الاستخدام الماهر للغازات المتطايرة المتجمدة كوقود للصواريخ التي قد تعمل على نقل الكويكب. وربما تُوجَّه المذنبات إلى المريخ بالطريقة نفسها. قد يكون لكلا النوعين من الارتطامات تأثير جانبي مفيد يعمل على تحرير النيتروجين من تربة كوكب المريخ كي يعمل كحاجز في الغلاف الجوي الجديد. وتشمل آخر طريقة تشييد محطات لتوليد الطاقة على سطح الكوكب، مع تصنيع مركبات الكلوروفلوروكربون لكي تعمل كغازات دفيئة قوية. ويمكن أيضًا ضغط تلك الغازات وتوصيلها من كوكب الأرض عن طريق الصواريخ.

الهدف من عملية إعادة تأهيل المريخ هو استخدام التعزيز الإيجابي لمصلحتنا، فمع تحرير ثاني أكسيد الكربون من مخزنه المتجمد في القطبين سيعمل كأحد غازات الدفيئة، متسببًا في احترار الكوكب وزيادة سرعة ذوبان القطب. يعتقد زوبرين وماكاي أنه يمكن زيادة سمك الغلاف الجوي وتسخين السطح بدرجة كافية لتكون المياه الراكدة والدورة المائية البيولوجية. ويمكن شفط المياه من طبقات المياه الجوفية بواسطة المضخات وآلات الحفر.

ستكون المرحلة التالية هي تكوين غلاف حيوي، وسيتم ذلك على الأرجح باستخدام كائنات البيئات القاسية المعدلة وراثيًّا من أجل المهمة. قد تكون مقاومة للإشعاع ومنتجة للأكسجين كي تبدأ المرحلة الثالثة وهي: مهمة جعل عناصر الغلاف الجوي صالحة لتنفس البشر. ومع ذلك، ربما يمكن للأفراد أن يعيشوا على سطح المريخ في المرحلة الثانية مستخدمين أجهزة تنفس لكن دون سترات الضغط، ويمكن بناء مناطق سكنية كبيرة قابلة لتوسيعها. قد يستغرق العمل على جعل المريخ مماثلًا تمامًا لكوكب الأرض

آلاف السنوات، وقد يتعين علينا إنفاق مزيد من الأموال إن تطلب إنجاز الأمر على نحو أسرع.

إن أصحاب الرؤى المستقبلية الذين يضعون الخطط لإعادة التأهيل هم علماء ومهندسون يتصفون بالحصافة، لكنهم يجنحون إلى الطيش أحيانًا. فإنشاء وطن جديد لمليارات البشر سيكون مكلفًا على نحو ضخم، والوصول إلى هناك سيتطلب دون شك رحلات فضائية دورية وأسطولًا من الصواريخ عالية الكفاءة كي تقوم بدور «الحافلات» بين الكوكبين؛ لذا الأمر يستحق التفكير في استراتيجيات أخرى.[٨]

(٢-٣) هندسة المستقبل

ناقشنا بالفعل احتمالية اصطدام أحد النجوم المارة بسحابة من المذنبات بحيث ترسل العديد منها في اتجاهنا، لكن وفق المقاييس الزمنية الأطول للتطور المستقبلي للشمس ثمة احتمال أن يمر نجم قريب عبر المجموعة الشمسية بما يكفي لإخراج الأرض عن مسارها تمامًا. وفي ضوء ما سنواجهه قد لا تكون تلك نتيجة سيئة، لكن احتمال حدوث هذا الأمر قبل أن تصير الشمس عملاقًا أحمر هو ١ إلى ١٠٠ ألف، وهناك احتمال أقل قدره ١ إلى ٢ مليون أن يلتقطنا أحد النجوم المارة؛ من ثَمَّ نحظى بوطن جديد وفرصة جديدة للعيش. لكن كما يقولون، ليس الأمل استراتيجية يعتمد عليها.

ماذا عن نقل الأرض عمدًا إلى مكان أكثر أمانًا؟ تلك مهمة صعبة لا يسعنا تحقيقها بأن نجعل سكان الصين يقفزون في الوقت ذاته (الأمر الذي لا تأثير له على الإطلاق)، أو أن يوجه الجميع مفرقعاتهم النارية إلى السماء في الوقت نفسه. سيتعين علينا أن نطوق كويكبًا ضخمًا ونرسله تجاه الأرض، لا لكي يصطدم بالأرض بل لكي يقترب منها بدرجة كافية بحيث يوفر دفعة جذبوية نحو الخارج. هل نثق حقًّا في قدرة علماء الصواريخ على تنفيذ مثل هذه المخاطرة؟

الأمر ليس خياليًّا كما قد تعتقد، فقد استخدمت وكالة ناسا هذه الطريقة بالفعل في بداية عملها؛ إذ استخدمت المشتري وزحل من أجل «دفع» مسباري جاليليو وكاسيني الفضائيين وإرسالهما إلى أعماق المجموعة الشمسية. وإليك الطريقة: إن أرسلنا مسبارًا نحو مسار أحد الكواكب بحيث يلحق بالكوكب من خلفه فسيكسب بعض الطاقة من الحركة المدارية للكوكب، ومن ثم ستزيد سرعة المسبار وتبطئ سرعة الكوكب، مما يجعله يقترب من الشمس قليلًا. يتسم كوكب المشتري بأنه ضخم للغاية، حتى إنه لن يتأثر أبدًا

بفقد الطاقة، لكنه ساعد في دفع المسبار جاليليو في طريقه. وقد نجح الأمر في الاتجاه الآخر أيضًا، فإذا أرسلنا مسبارًا أمام الكوكب، فسيفقد المسبار الطاقة ويمنحها للكوكب الذي سيبتعد قليلًا عن الشمس.

توصل العلماء دون كوريكانسكي وجريج لافلين وفريد آدامز إلى التفاصيل ونشروها على نحو جدي في دراسة لعلم الفلك خضعت لمراجعة الأقران.[٩] كل ما يتطلبه الأمر هو كويكب يماثل جزيرة لونج آيلاند في حجمه ومرفق به صواريخ (تعمل بالطاقة الشمسية) لتوجيهه حتى مسافة ١٦ ألف كيلومتر من الأرض، وستُدفع الأرض مسافة ١٦ ألف كيلومتر بعيدًا عن الشمس. ليس ذلك بالقدر الكبير؛ لذا علينا أن نعيد استخدام الكويكب، وهو ما يعني إرساله نحو مدار المشتري أو زحل لاستعادة بعض الطاقة ثم نؤرجحه عن طريق كوكب الأرض من أجل تمريرة أخرى. قد يستغرق إتمام كل تمريرة ١٠ سنوات، وبعد مليون تمريرة سنكون قد نقلنا الأرض إلى مدار يعادل مدار المريخ. بصورة أساسية نحن نحول الكويكب إلى مكوك ينقل الطاقة من المشتري أو زحل ويسلمها إلى الأرض لزيادة حجم مدارها.

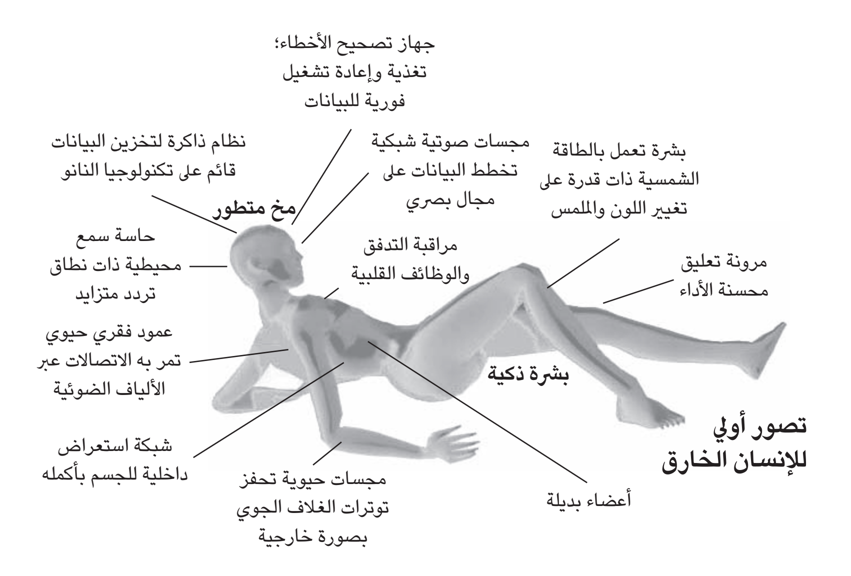
يبدو الأمر رائعًا، لكنه «شديد» الخطورة، فعلى مسافة ١٦ ألف كيلومتر سيبدو الكويكب مروعًا؛ إذ سيلوح في الأفق مماثلًا في حجمه القمر في السماء. ستبلغ قوته المدية أكبر ١٠ مرات من قوة القمر، وهذا سيسبب أمواج تسونامي وعواصف كبيرة. وفي كل مرة يمر فيها بالأرض سيكون علينا أن نستعد لأوقات عصيبة. سيتعين علينا أن نفعل ذلك مليون مرة، وفي كل مرة سيكون هامش الخطأ قليلًا. ومن شأن عملية حسابية واحدة غير صحيحة أن تؤدي إلى تصادم من شأنه — كما أشار واضعو الدراسة في جفاء — «أن يفني المحيط الحيوي تمامًا، على الأقل حتى مستوى البكتيريا». وحسبما يوضح لافلين: «ثمة قضايا أخلاقية عميقة مرتبطة بالأمر، وتكلفة الفشل عالية على نحو غير مقبول.» دعونا نأمل ألا نصل إلى النقطة التي يكون فيها ذلك اختيارًا إجباريًّا.

(٢-٤) الإنسان الخارق قادم

ما نوعية الأشخاص الذين سيتعاملون مع هذه الخيالات المستقبلية التي ستعيشها المجموعة الشمسية في المستقبل؟ لقد قابلنا بالفعل مَن يجمِّدون أنفسهم أملًا في إعادتهم للحياة بواسطة تقنية لم تبتكر بعد، وقابلنا راي كرزويل الذي يتنبأ بأننا سنسمو عما

قريب عن أجسادنا البيولوجية. هذه مجرد نزعات في حركة فلسفية أكبر يطلق عليها اسم «ما بعد الإنسانية».

إن حركة ما بعد الإنسانية حركة دولية تستكشف استخدام العلم والتكنولوجيا في تعزيز قدراتنا الذهنية والجسدية والتغلب على الجوانب البشرية كالمرض والشيخوخة والموت اللاإرادي، إنها تفترض أن الإنسان سيخضع لتحسينات تجعل منه ما يشبه البطل الخارق (الشكل ٨-٤).



شكل ٨-٤: صورة تقديرية للإنسان الخارق، توضح تحسينات مصممة من أجل دعم إمكانية طول العمر أو حتى الخلود. والكثير منها صور متقدمة لتقنيات نعمل على تطويرها الآن. (Natasha Vita-More, Extropy Institute)

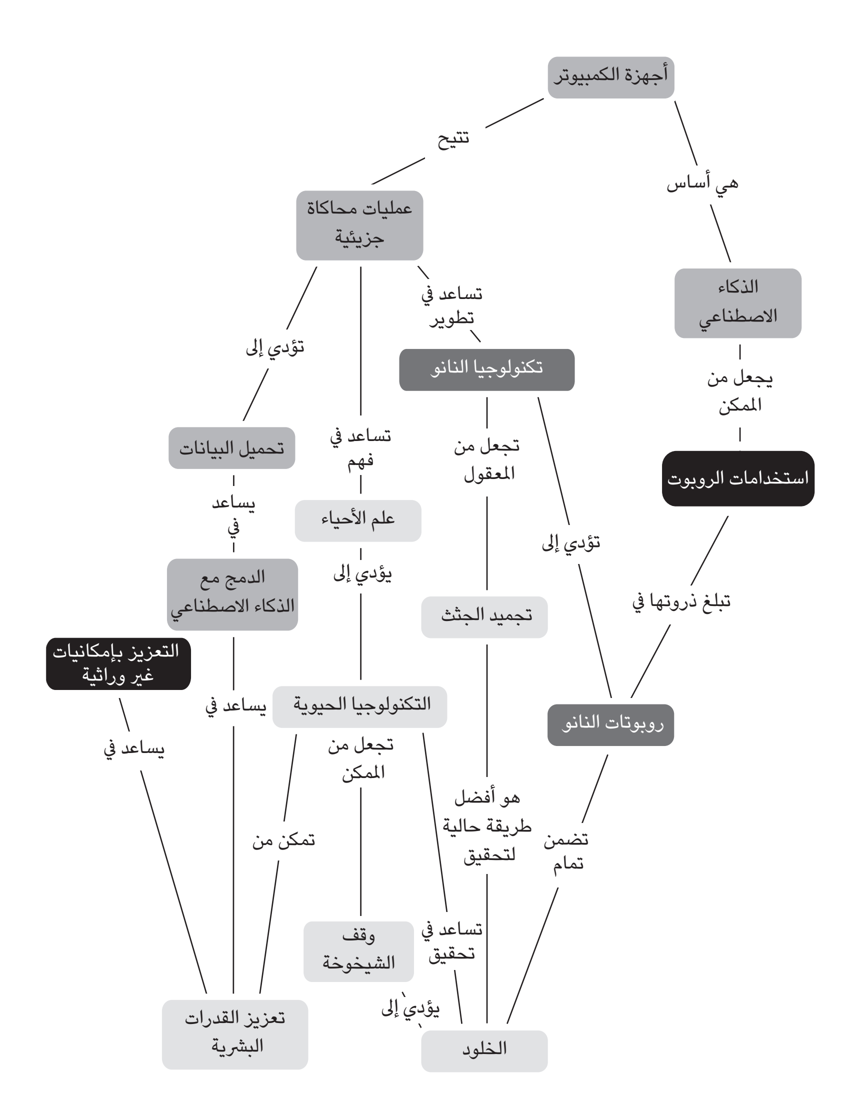
مع أن هذه الحركة مستقبلية فإنها تعكس أفكارًا قديمة لقصة جلجامش، وتربطها خيوط متصلة ببعض كبار مفكري المدرسة الإنسانية في عصر النهضة. وفي العصر الحديث تأثرت هذه الحركة بعالم كمبيوتر يدعى مارفين مينسكي، وارتبطت بمجموعة من الأكاديميين بجامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس في ثمانينيات القرن العشرين. كان

أحدهم رجلًا يدعى إف إم-٢٠٣٠ (إف إم إسفاندياري سابقًا)، وهو روائي فارسي كتب قصصًا واقعية وكذلك خيالية، وهو واحد ممن جمدت جثتهم شركة ألكور. وقد قال ذات مرة: «أنا شخص ينتمي إلى القرن الحادي والعشرين وجرى إطلاقه في القرن العشرين على سبيل الخطأ، ولدي حنين شديد للمستقبل.»

أيضًا أثرت حركة ما بعد الإنسانية على الحركة النسوية من خلال كتابات دونا هاراواي. وقد انتقل مقالها بعنوان «بيان البشر الآليين» بعيدًا عن القصص المبنية على المسيحية أو عقدة أوديب نحو اعتناق الإنسانية التي تسمو فوق ازدواجية النوع.[١٠] وتأسست «الجمعية العالمية لما بعد الإنسانية» عام ١٩٨٨ وضمت ٥٥٠٠ عضو من ١٠٠ دولة، ومؤخرًا غيرت اسمها إلى «الإنسانية+»، ويحرر رسالتها الإخبارية التي تحمل الاسم نفسه آر يو سيريوس (كين جوفمان سابقًا) الذي ترشح لرئاسة الولايات المتحدة عام ٢٠٠٠ عن حزب الثورة.

تتصف حركة ما بعد الإنسانية بأنها محل جدال وكثيرًا ما يساء فهمها. والطابع العام الأساسي لفكر ما بعد الإنسانية يركز على مخاطر، وأيضًا مزايا، تغيير البشر من أجل أن يحيوا حياة أفضل وأطول، علاوةً على أنه يبدي الاهتمام لعدم المساواة المحتمل في إمكانية الوصول إلى هذه التقنيات. كان عالم الوراثة جي بي إس هالدين قد لاحظ عام ١٩٣٢ أن كل تقدم في علم الأحياء أو علم الوراثة قد «يبدو أولًا للمرء على أنه تجديف أو ضلال». وليس هناك الكثير من الحركات التي يمكن أن يصفها أحد النقاد، كفرانسيس فوكوياما، على أنها «أكثر الأفكار خطورة في العالم»، ويصفها أحد المؤيدين، كرونالد بيلي، على أنها «الحركة التي تجسد بصورة مصغرة أكثر طموحات الإنسانية جرأة وشجاعة وخيالية ومثالية». ويوضح تخطيط مفاهيمي التقنيات التي ستعتمد عليها الحركة كي تحقق هدفها (الشكل ٨-٥).

عند سماع هذه الأفكار من نيك بوستروم تبدو جدية ومعقولة، ويبدو من غير النضج ألا توضع في الاعتبار بجدية. لقد شارك بوستروم في تأسيس الجمعية العالمية لما بعد الإنسانية، وهو أستاذ للفلسفة وأيضًا مدير معهد مستقبل البشرية بجامعة أكسفورد، وهو يعتقد أن أي وفاة سابقة للموت الحراري للكون هي سابقة لأوانها، ويعتقد أن التكنولوجيا التي تعمل على «تحميل» العقول بالبيانات على نحو مستقل عن المخ البيولوجي ممكنة بالفعل. يقول: «يمكنك تجميد المخ وتجزئته إلى شرائح صغيرة ثم مسح كل شريحة بواسطة إحدى التقنيات المجهرية ثم استخدام برنامج معالجة



شكل ٨-٥: نموذج مفاهيمي لما بعد الإنسانية. يوضح النموذج المسارات التي قد تتطرق بها أبحاث التقنيات الجديدة للقضايا الأساسية كالشيخوخة والموت البيولوجي. وتدعو الاستراتيجية التزايدية للتحسين؛ بحيث يكون الهدف النهائي هو الخلود. (Danila Medvedev, Russian Transhumanist Movement)

الصور لاستخلاص تخطيط ثلاثي الأبعاد للشبكة العصبية التي يعمل بها مخك.» ويوضح بحث مكون من ١٤٠ صفحة موجود على موقعه الإلكتروني خطة عمل لمحاكاة المخ بالكامل.[١١] ويعتقد بوستروم أن معظم الأكاديميين يبدون انتباهًا ضئيلًا لمثل هذه الموضوعات، وهدفه هو «محاولة تمكين البشرية — على نحو منطقي ومدروس — من التفكير في مستقبلها وأن تتطرق لهذه التحديات بحكمة أكبر».

يبدو أن الأتباع الجامحين لهذه الحركة شديدو الغرابة، لكن حركة ما بعد الإنسانية تواجه قضايا ستحتل الصدارة في القرن الحادي والعشرين. ويعلن بيانها الرئيسي أنه عن طريق «اعتناق التقنيات الجديدة سيكون لدينا فرصة أفضل لتحويلها إلى مصلحتنا أكثر مما لو حاولنا منعها أو حظرها». لا تعتبر هذه الحركة الإنسانية مركزًا للوجود؛ فهي تدعو إلى «نجاح كل صور الإدراك؛ سواء على صورة أشخاص ذوي ذكاء اصطناعي أو بشر عاديين أو بشر خارقين أو حيوانات غير بشرية». وربما يكون أكثر الأسئلة إثارة من «ما الذي سيوجد في المستقبل؟» هو «من الذي سيوجد في المستقبل؟»

الفصل التاسع

موطننا المجرِّي

مجرة درب التبانة قصة عاطفية بشرية مخطوطة على نطاق واسع في السماء. وحسبما حكاها الإغريق القدماء، كان لإله الشمس هليوس ابنٌ متهور يدعى فيتون، كان متيقنًا من أنه قوي بدرجة كافية لقيادة مركبة الشمس عبر السماء. حاول هليوس أن يقنعه بخلاف ذلك، لكن فيتون أمسك بعنان الخيول واستحوذ على المركبة المتقدة وخيولها الأربعة. شعرت الخيول أن يدًا مترددة توجهها؛ لذا تمايلت وجمحت عبر السماوات، تاركة الأرض في حالة متناوبة ما بين التجمد واللفح الشديد وهي تغير اتجاهها لأعلى ولأسفل.

لفحت الشمس أجساد البشر في الهند وأفريقيا بشدة، حتى إن بشرتهم ظلت سمراء. تدارك زيوس الضرر بأن قذف صاعقة على الفتى فسقط إلى الأرض كمذنَّب واستقر في نهر الفرات. رثت الآلهة موته بأن وضعت النهر أعلى في السماء حيث صار كوكبة النهر. أما الندبة المحترقة غير المنتظمة التي سببتها المركبة في السماء، فصارت مجرة درب التبانة.

تربط أساطير أخرى شريط الضوء السماوي المتناثر بآلام الغيرة، فإحدى أولى القصص الإغريقية تدور عن كرونوس، وهو والد زيوس. ولأن كرونوس لم يُرد أن يفقد مكانته كإله السماء فقد ابتلع أبناءه. لم تحتمل ريا، الأرض، فقدان طفل آخر بسبب غيرة زوجها؛ لذا لفت صخرة في قماط الطفل وأعطتها إلى كرونوس كي يبلعها. ولما كان متشككًا طلب منها أن تُرضع الطفل مرة أخرى قبل أن يلتهمه. ضغطت ريا بالصخرة الصلبة على حلمة ثديها وأصبح اللبن المتدفق مجرة درب التبانة.

ثمة رواية أخرى لهذه الأسطورة، وفيها رضع الطفل هرقل اللبن من هيرا ليحظى بحكمتها، لكن حين أدركت أن الطفل ابن غير شرعي لزيوس من امرأة أخرى، دفعت بالطفل بعيدًا وتحولت لطخة من اللبن إلى مجرة درب التبانة. خُلدت هذه القصة في لوحة مضيئة للرسام الشاب الفينيسي تينتوريتو في المتحف الوطني بلندن.

في أجزاء أخرى من العالم فاقت عادات تبجيل مجرة درب التبانة الثقافات الفردية عددًا. آمن الناس في شرق آسيا أن شريط النجوم الغائم كان «نهر السماء الفضي». وفي فيتنام تحيك الجنية الحائكة الأثواب الحريرية ويرعى راعي الجواميس القطعان، ووقع الاثنان في الحب لكنهما أهملا واجباتهما؛ لذا عاقبهما الإمبراطور اليشم بالعيش على جانبين متقابلين من النهر الفضي. هذان هما نجما النسر الواقع والنسر الطائر. رق لهما قلب الإمبراطور اليشم وسمح لهما بأن يتقابلا مرة واحدة كل عام، في اليوم السابع من الشهر السابع، وهو الاحتفال الميمون بعيد الحب الصيني.

ظهرت مجرة درب التبانة على نحو بارز في روايات نشأة الكون في الأمريكتين، فشعب المايا يطلقون عليها اسم «شجرة العالم»، حيث تمثل سحب النجوم شجرة الحياة. وفي الفجر في منتصف شهر أغسطس تنتصب مجرة درب التبانة وتمر من سمت الرأس، وهو محور السماء. ومع التفاف السماء وإعتاق النجوم السبعة للدب الأكبر، تُطرد الببغاوات السبع في أسطورة شعب المايا من مجاثمها فوق شجرة الحياة.

* * *

(١) النجوم القديمة والمستقبلية

(١-١) ذبابة مايو والغابة

تُولد ذبابة مايو في الماء، ثم تقضي يومها تحت الشمس؛ هذا اليوم هو عمرها كله حرفيًّا، فبعد أن انقضى عليها عام كحوراء، تبسط جناحيها طيلة وقت يقاس بالساعات. تخيل أن هناك ذبابة مايو غير عادية، وأن لديها القدرة على الطيران خلال الغابة واستيعاب ما تراه والتفكير في تبعاته. ما الذي ستراه؟ وما الذي ستتعلمه عن الغابة في مثل هذا الوقت القصير؟

سترى حشرات وحيوانات أخرى، لكنها ستشعر بالتقزم مقارنة بالمشهد المعقد المكسو باللون الأخضر، فعلى أرضية الغابة تستقر الأشنة والأزهار والشجيرات الصغيرة والنباتات الكثيفة. تنمو الشجيرات لأعلى وتتشابك قممها. عدد قليل من الأشجار لا تكسوه الأوراق، وقد تقشر لحاؤه. وأشجار أخرى تفحمت أو تمزقت. قد ترصد ذبابة مايو أيضًا جذوع الأشجار المتساقطة. ولما كانت خالية من الأوراق والفروع فقد لا يكون ممكنًا تمييزها كأجزاء من أشجار قوية تشق السماء. قد تكون بعض الجذوع متحللة بفعل الخنافس والتجوية، حتى إنها أقرب إلى الوحل منها إلى الأشجار.

ستخلص ذبابة مايو إلى أن الغابة تدور حقًّا حول الحيوانات والحشرات، ففي النهاية، وبخلاف الأوراق القليلة المتساقطة والأزهار التي تستدير كي تتبع الشمس، لا تفعل النباتات والأشجار الكثير. في تلك الأثناء تطوف الحيوانات بحثًا عن الطعام وتحفر جحورًا لها، ويطير النحل من زهرة لأخرى، ويعمل النمل بكد على نقل الطعام وبناء المواد بطول مسارات معقدة على الأرضية الورقية للغابة. يبدو أن هذا النشاط الهادف يحدث على ستار خلفي ساكن، فمن منظور السنجاب، ليست شجرة البلوط سوى منزل ومصدر للطعام على شكل جوز البلوط.

هل يمكن أن تستنتج ذبابة مايو من الملاحظات التي جمعتها أثناء حياتها القصيرة أن الكثير من الأشياء التي في عالمها مرتبط وقتيًّا؟ هل ستستنتج أن جوزة البلوط يمكن أن تنمو لتصير شجيرة، وأن الشجيرات صغيرة الحجم هي سلف لأشجار ارتفاعها ٣٠ مترًا وقطرها ٩ أمتار، وأن الأشجار تموت وتتساقط لكي تصبح جذوعًا خشبية، وأن الجذوع تتحلل على مدار الوقت إلى سماد يكمن أسفل بساط من الأوراق؟ هل يمكن لذبابة مايو أن تتبين نمط إنبات النباتات وتلقيح الأزهار؟ هل يمكن لذبابة مايو أن تعلم أن جوزة البلوط هي طعام ومسكن ليرقات السوس، ومن ثم تشارك في جزء آخر من دورة حياة الغابة؟ هل يمكن أن تعلم أن يرقات الفراشات أو الخنافس يمكن أن تُسقط شجرة بلوط قوية، مثلما يحدث حين يضربها البرق؟

في ضوء هذه الحياة القصيرة قد لا يحالف الذبابة الحظ. إن ولدت ذبابة مايو أثناء عاصفة رعدية ربما تدرك أن بعض الأشجار يضربها البرق وتموت، وإن تصادف أن رأت جوزة بلوط تسقط ربما تستنتج أنه سيكون من ورائها غرض بعد أن تسقط، لكنها قد تعجز عن تخمين أن جوزة واحدة من بين ١٠ آلاف جوزة ستنمو لتصير شجرة بلوط، وحتى إن سقطت إحدى الأشجار مرة كل يوم في مكان ما في الغابة، من غير المرجح أن تكون ذبابة مايو قريبة منها بما يكفي كي تلحظها.

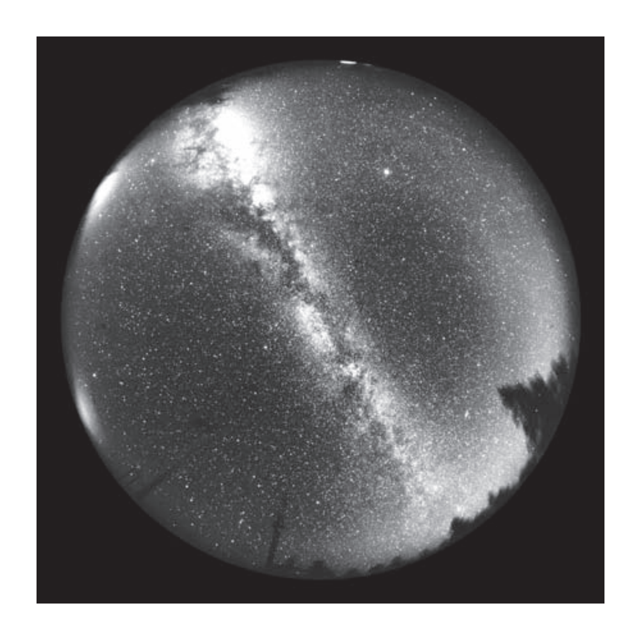
تلك هي مشكلة علماء الفلك قصيري العمر في مجرة معمرة، فحيوات ذباب مايو أقصر ملايين المرات من حيوات أشجار البلوط، وحيواتنا أقصر ملايين (أو حتى مليارات) المرات من حيوات النجوم. ترسم لنا المجرة لوحةً لا تتغير تقريبًا.[١] فلا يمكننا أن نرى التعاقب أو التطور، ويبدو كل نوع من الأجسام السماوية مميزًا وفريدًا. وسنحتاج ملاحظات دقيقة ونماذج مادية للطريقة التي تتحرك بها النجوم كي نفهم مجرة درب التبانة التي نحن جزء منها.

(١-٢) مدينة النجوم

كان شريط الضوء الباهت الذي يطوق الأرض معروفًا منذ القدم. وتشطر مجرة درب التبانة — التي جاء اسمها كترجمة للتعبير اللاتيني Via Lactea المشتق من اللفظة الإغريقية Galaxias ويرجع جذرها اللغوي إلى كلمة «لبن» — السماء شمالًا حتى كوكبة ذات الكرسي، وجنوبًا حتى كوكبة صليب الجنوب. تقع أكثر المناطق سطوعًا أدنى خط الاستواء في اتجاه كوكبة الرامي. ليس ضوء هذا الشريط متدفقًا أو منتظمًا؛ إذ يسطع في بعض المناطق ويعتم في مناطق أخرى على امتداد السماء، ويعلوه كتل من النجوم الساطعة والمناطق المظلمة (الشكل ٩-١). هذه كانت كل المعلومات الشائعة التي يلم بها القدماء، لكنها صارت منسية الآن؛ لأن معظمنا يعيش في أماكن يغمرها وهج الحضارة. فمن النادر أن ينسى أحد المرة الأولى التي رأى فيها سماء مظلمة حقًّا وظهرت أمام عينيه مجرة درب التبانة كستار أبيض مجدول.

ما مجرة درب التبانة؟ خمن ديموقريطوس أن الوهج الشفاف كان الضوء المشترك للنجوم البعيدة (مع أن ثمة دليلًا على أنه تأثر في فكرته بأناكسوجوراس). وقد خمن أيضًا وجود وحدات صغيرة أساسية غير مرئية للمادة أطلق عليها اسم الذرات. وشاع عن ديموقريطوس أنه كان يضحك بسرعة على كل شيء تقريبًا، حتى إنه أُرسل إلى أبقراط لكي يعالجه. قال أبقراط إن ديموقريطوس ليس مجنونًا، بل يحظى بحالة مزاجية سعيدة فحسب. وربما كان الابتسام سيلازم أي شخص يمكنه أن يحتفظ بهذا العدد الهائل من النجوم والذرات في عقله. كان ديموقريطوس متقد الذكاء وسابقًا لزمانه، لكن لم يكن لديه أي دليل يؤيد تخميناته.

استبعد تيار الفكر الإغريقي الرئيسي هذه الفكرة لمصلحة نظرية الكون المتمركز حول الأرض، التي ذهبت إلى أن الأرض ثابتة ضمن مجموعة من الكرات البلورية، وأن



شكل ٩-١: مجرة درب التبانة تظهر على شكل قوس في السماء، كما شوهدت من مكان بعيد في جنوب أريزونا. لم ينعم الأشخاص الذين يعيشون في المناطق الحضرية أو الضواحي قط بسماء مظلمة بدرجة كافية لرؤية مجرة درب التبانة، ومشهد كهذا يزداد ندرةً بسبب التلوث الضوئي. (Steward Observatory and Kitt Peak National Observatory/National Optical Astronomical Observatories)

الكرات الداخلية تحمل القمر والشمس والكواكب الخمسة المرئية للعين المجردة، والكرات الخارجية تحمل كل النجوم. كان أودوكسوس هو من اقترح هذا النظام بصورة مبدئية، لكن أرسطو كان أكثر مؤيديه قوة وفصاحة. لقد توصل أرسطو إلى أنه من البديهي أن الأرض لا تتحرك، وأن الأجرام السماوية تتحرك في دوائر تامة، وأننا مركز كل شيء. كانت النجوم تشكل مدرجًا والأرض هي خشبة المسرح الرئيسية. ربما الأحرى بنا أن نطلق على هذه النظرية اسم «الكون المتمركز حول الذات».

وفق نظرية الكون المتمركز حول الأرض لا بد أن تكون النجوم على مسافة متساوية من الأرض لتفسر حقيقة أنها لا تتباين في السطوع أو الموقع على مدار العام. وفي أكثر

نماذج هذه النظرية تعقيدًا، تعين وجود ٥٦ كرة بلورية لتبرير الحركات الدقيقة التي تصدر أحيانًا للكواكب؛ لقد كانت متوازنة ومتداخلة وكأنها تروس لساعة سماوية. وفي نسخة النموذج التي نقلها بطليموس في رائعته «المجسطي» بلغت المسافة الممتدة إلى أبعد الكرات حوالي مليون ميل؛ من ثم لا بد أنها كانت تدور بسرعة هائلة تبلغ ١١٠ كيلومترات في الثانية (٢٥٠ ألف ميل في الثانية).

تلك هي النجوم الساطعة؛ فماذا عن شريط الضوء الذي نطلق عليه اسم مجرة درب التبانة؟ لم يكن أرسطو على صواب إلى حد ما؛ لقد اعتقد أن ضبابية مجرة درب التبانة نتجت عن اشتعال الطبقة العلوية من الهواء عن طريق الآلية نفسها التي تضيء ذيل أحد المذنبات.[٢]

بعد ألفي عام تقريبًا بدأ جاليليو في إجراء التجارب مستخدمًا التليسكوب الذي جرى ابتكاره حديثًا. كشف جاليليو عن العديد من عجائب السماء — البقع الشمسية على الشمس وأقمار كوكب المشتري والتضاريس الجبلية على سطح القمر — لكن ربما جاءت كبرى المفاجآت عندما وجه تليسكوبه إلى مجرة درب التبانة. لقد تحولت الضبابية الشفافة إلى نقاط ضوئية محددة مثلما تتحول صورة تليفزيونية متدفقة إلى نقاط فسفورية متناهية الصغر أو بكسلات حين تقترب منها للغاية. ومن وجهة نظر جاليليو أعطى هذا السماء عمقًا حقيقيًّا؛ بعدًا ثالثًا. بدا من المعقول الافتراض أن كل نقطة ضوئية كانت نجمًا كالشمس، وأن بعضها كان أبعد في المسافة من الآخر. لقد رأى جاليليو عددًا هائلًا يصعب حصره، وافترض أن هناك عددًا أكبر بكثير يخرج عن نطاق قدرة تليسكوبه الصغير. إننا نعيش في مدينة نجوم.

أذكر جيدًا حين رأيت مجرة درب التبانة لأول مرة؛ أعني المرة الأولى التي «رأيتها فيها حقًّا». كنت أدرس علم الفلك لسنوات ورصدت الظواهر على قمم الجبال في أمريكا الشمالية. كانت تلك المواقع مظلمة لكن كان هناك دومًا مدن في الأفق تفيض بضوئها لأعلى سماء الليل. وبعد أن حصلتُ على الدكتوراه ذهبت إلى تشيلي للمرة الأولى، وأنبأتني رحلة الطائرة إلى الشمال من سانتياجو، والرحلة الوعرة بالسيارة مدة خمس ساعات، بأنني سأكون بعيدًا للغاية عن الحضارة. كان المرصد فوق قمة نتوء جبلي صخري، وكانت البرية من حولي في كل مكان: قمم جبال الإنديز المرتفعة، والتلال السفحية القاحلة بنية اللون الممتدة كدثار منبسط متجعد، والحافة الجنوبية لصحراء أتاكاما. لكن لم يفلح أي من هذا في التخفيف من شعوري بالمفاجأة حين شاهدت السماء في منتصف

الليل. ظهرت مجرة درب التبانة بالأعلى كشريط فضي بالٍ. كان لمجموعات نجومها وسحبها المظلمة عمق وبنية. توهج ضوء النجوم على نحو شديد السطوع، حتى إنني استطعت قراءة الكتاب الذي كان بين يدي، وكان ظل الكتاب ويدي واضحًا على الأرض. وقفت ساكنًا عدة دقائق وأنا مذهول.

(١-٣) هيكل المجرة

لم يستطع جاليليو أن يقيس حجم المدينة. تولى ذلك الأمر ويليام هيرشل الذي انتقل ببناء التليسكوبات إلى آفاق جديدة قرب نهاية القرن الثامن عشر. كان هيرشل عازف موسيقي محترفًا وعالم فلك حاز على الشهرة والرعاية الملكية بفضل اكتشافه لكوكب أورانوس. وبالعمل مع أخته المخلصة كارولين — وهي ذاتها عالمة فلك بارعة — أجرى عدة عمليات مسح ليلية للسماء وحصر عدد النجوم. انخفضت كثافة النجوم مع انتقاله بعيدًا عن شريط الضوء في أي من الاتجاهين، لكنها ظلت ثابتة تقريبًا بطول ذلك الشريط؛ لذا استنتج أننا نعيش بالقرب من مركز قرص هائل من النجوم. وأشار تقديره إلى أن قطر مجرة درب التبانة يبلغ ٨٠٠٠ سنة ضوئية، وأن سمكها يبلغ ١٥٠٠ سنة ضوئية، وأنها تحتوي على ٣٠٠ مليون نجم.

كيف توصل إلى هذا التقدير؟ إننا محبوسون على سطح كوكبنا ولا يمكننا قياس البعد الثالث. اعتمد هيرشل على الطريقة التي ينتقل بها الضوء. إن الأشعة الصادرة عن أي مصدر ضوء كروي الشكل تنتشر وتتوزع مع انتقالها عبر الفضاء. وعن بُعد يتناقص سطوع أي مصدر ضوئي بمقدار التربيع العكسي للمسافة؛ فإذا ابتعدت عن أحد النجوم ضعفَي مسافتك الحالية عنه، فسيخفت سطوعه بمقدار أربعة أضعاف. استخدم هيرشل السطوع النسبي للنجوم كي يحدد مسافاتها النسبية، وذلك بافتراض أن كل النجوم لها السطوع ذاته.

كان هيرشل محقًّا بشأن قرص النجوم، لكنه كان مخطئًا بشأن حجمه وموقعنا داخله. لقد قلل من شأن حجم مجرتنا على نحو شديد بافتراض أن كل النجوم تماثل الشمس. في الواقع، إن أكثر نجوم يسهل رؤيتها هي أكثر النجوم سطوعًا بطبيعتها، وهذه أضخم حجمًا من الشمس. ولأنه يمكن رؤيتها من مسافات بعيدة للغاية، فهي أبعد كثيرًا عن النجوم المماثلة للشمس التي لها درجة السطوع نفسها. كانت الطريقة

التي استخدمها هيرشل في تقدير المسافات غير متقنة بدرجة كبيرة بما لا يسمح بإعطاء نتيجة موثوق بها.

الآن لننتقل بالزمان إلى قرن تالٍ. اضطلع عالم الفلك الأمريكي هارلو شابلي بعملية قياس حجم مجرة درب التبانة، متسلحًا بتليسكوب جديد قطره ١٫٥ متر (٦٠ بوصة) على جبل ويلسون في كاليفورنيا — وكان أكبر التليسكوبات حجمًا في العالم آنذاك — وطريقة جديدة لقياس المسافات باستخدام خصائص النجوم النابضة. درس شابلي التركيزات المحكمة للنجوم التي أطلق عليها اسم العناقيد الكروية، ووجد أنها تقع على مسافات كبيرة على نحو مذهل تتراوح من ٥٠ ألفًا إلى ٢٠٠ ألف سنة ضوئية. شكَّلت النجوم حشدًا كروي الشكل عند الحد الخارجي لمجرة درب التبانة، ولم يكن حشد النجوم متمركزًا حول الشمس، بل حول موضع يبعد ٢٧ ألف سنة ضوئية في اتجاه كوكبة الرامي.

كان شابلي محقًّا بشأن اتجاه مركز مجرة درب التبانة، لكنه أخطأ أيضًا بخصوص الحجم. كان خطؤه هو الافتراض أن الفضاء بين النجوم كان خاليًا. ثمة خليط رقيق من الغاز والغبار يتخلل الفضاء. ويتشتت الضوء بعيدًا عن جزيئات الغبار متناهية الصغر، ويكون التأثير التراكمي لذلك هو أن النجوم البعيدة تبدو معتمة؛ بهذا ينخدع علماء الفلك بالاعتقاد بأنها أبعد مما هي عليه بالفعل. ولم يتسنَّ سبر أغوار المجرة بالموجات الراديوية التي لا تتأثر بالغبار الواقع بين النجوم حتى ثلاثينيات القرن العشرين.

في السنوات الثلاثين الماضية نقَّح علماء الفلك تقديراتهم لحجم مجرة درب التبانة وكتلتها ومحتواها النجمي. مثَّلت الكتلة أكبر المفاجآت لأنها أكبر عشر مرات مما يمكن توقعه في ضوء عدد النجوم. ثمة هالة من المادة المظلمة تضم المحتويات المرئية للمجرة وتبقيها في أماكنها بفعل الجاذبية. والمادة المظلمة معضلة كبيرة لعلم الفلك الحديث؛ إذ لا تزال طبيعتها المادية الأساسية غامضة، لكنها تبقي على جميع المجرات سليمةً، وتفوق جسيماتها في عددها جميع الذرات الموجودة في الكون.[٣]

يبلغ قطر مجرة درب التبانة ١٠٠ ألف سنة ضوئية تقريبًا، ويبلغ سمكها نحو ٥ آلاف سنة ضوئية. ونحن نستخدم التعبير «تقريبًا» لأنه ليس هناك حواف قاطعة للمجرة؛ فالنجوم تقل بانتظام حتى تنتهي في الاتساع المظلم للفضاء الممتد بين المجرات، وتظهر الأقزام البيضاء والمجموعات كروية الشكل على سطح الهالة الكروية على هيئة نقاط، لكن المجرة تتألف في الأغلب من المادة المظلمة. وداخل الهالة ترسم أذرع حلزونية

جميلة قرص المجرة، وتتبع اتجاه الدوران. تحتوي المناطق المركزية على مجموعة مكدسة من النجوم الحمراء القديمة، وثمة ثقب أسود يزيد في كتلته عن كتلة الشمس بمئات المرات يقبع في مركز المجرة بالضبط.[٤] وعند رؤية مجرة درب التبانة من إحدى حوافها ستبدو كبيضتين مقليتين وضعت إحداهما وراء الأخرى. إن علماء الفلك مولعون بالتشبيهات ذات الطابع العائلي. مما لا شك فيه أن الكون كبير على نحو قد يبعث على عدم الارتياح، لكن لا تفقد رباطة جأشك، فكل شيء يسير كما ينبغي!

تحتوي مجرتنا على نحو ٤٠٠ مليار نجم. وهذا الرقم أقل دقة من الحجم؛ لأنه يعتمد على مدى العمق الذي تنظر إليه، فمعظم النجوم أصغر حجمًا بكثير وأعتم من الشمس، وهي تفوق في العدد النجوم المماثلة للشمس بكثير.

ماذا عن مكاننا في هذه المدينة من النجوم التي يزيد عددها ٦٠ مرة عن عدد البشر على كوكبنا؟ نحن موجودون بالمنطقة الحضرية لكننا بعيدون عن المركز، على نحو مماثل للمسافة من باسادينا إلى لوس أنجلوس أو من ويمبلي إلى لندن. نحن قريبون من الذراع الحلزوني لكوكبة الجبار، وهو طريق عام رئيسي للنجوم، وتحيط بنا قصص ميلاد النجوم ووفاتها. إن مركز المجرة مكان فوضوي، مكتظ للغاية بالنجوم، حتى إننا لو عشنا هناك فستكون سماء الليل مضاءة بسطوع يماثل ذلك الذي ينشره القمر وهو بدر. وإن عشنا بالقرب من الحافة فسنشعر بالعزلة الشديدة، لكن سيعوضنا عن ذلك استمتاعنا بمنظر الأذرع الحلزونية الخلاب.

(٤-١) الميلاد والطفولة

مجرة درب التبانة ذات مساحة شاسعة، وتبدو خالدة، بيد أن لها بداية وستكون لها نهاية. وعلى نحو مشابه للممثلين الذين يناجون أنفسهم في مسرحية شكسبير «كما تحب»، للنجوم أوقات دخول وخروج، وحتى خشبة المسرح لن تدوم إلى الأبد. إننا مرتبطون بالصورة التقليدية للرضيع الذي «يبكي ويتقيأ». لم تكن مجرة درب التبانة بالحجم نفسه فيما مضى. لكن على عكس الرضيع، لم تبدأ المجرة بنسخة مصغرة للغاية من ذاتها الحالية، بل جُمعت من أجزاء أصغر. من السهل الحصول على رضيع؛ عاطفة لحظية أو نسيان لحبة منع الحمل. لكن ما مدى سهولة الحصول على مجرة؟

دعونا نقابل كارلوس فرينك. كارلوس أستاذ للفيزياء، حاصل على كرسي أستاذية أوجدِن، ومدير لمعهد «علم الكونيات الحوسبي» بجامعة دورهام بإنجلترا. وهو من

الشخصيات الرائدة في مجال استخدام أجهزة الكمبيوتر لمحاكاة جوانب الكون وتطور المجرات.

يلوح فرينك بذراعيه أثناء وصفه لعمل معهده. هو ليس فقط مفعمًا بالحيوية والنشاط، لكنه أيضًا مفعم بالمرح. لديه عينان سوداوان براقتان، وأنف قوي، وشعر أسود تتخلله شعيرات رمادية، وله صوت أجش يحمل لكنة بلده الأم؛ الأرجنتين. قد يبدو رجلًا فاتنًا كبير السن، لكنه غير مهتم بإغواء النساء، بل يتوق بكل جوارحه لمعرفة أسرار المجرات. يمكننا أيضًا أن نتصور الانفصال الثقافي الذي يمر به عندما يقابل السكان قليلي الكلام في هذه المدينة السوقية الصغيرة في شمال شرق إنجلترا، ونتخيل حواجبهم المتقوسة حين يتحدث إليهم عند خزينة السداد في المتجر ويشرح أوجه جمال المادة المظلمة.

إن محاكاة تشكُّل المجرات وتطورها أمر صعب للغاية. قد لا تكون عملية المحاكاة سحرًا، لكنها فن بقدر ما هي علم. فكر فيها على أنها عملية خبز؛ نضع المكونات في جهاز كمبيوتر: مادة عادية ومادة مظلمة وطاقة إشعاعية وقوانين الجاذبية وديناميكا الغازات، ستحدث العديد من التفاعلات المعقدة.[٥] وعندما نعود مرة أخرى بعد مليارات قليلة من الأعوام هل سنجد ركامًا متداعيًا أسود اللون أم مجرةً حلزونيةً جميلةً تزينها النجوم؟

لا يمكننا الاستمرار في هذا التشبيه لأبعد من ذلك؛ فالفيزياء الفلكية الحاسوبية مجال تقني ومقصور على فئة قليلة من الأشخاص. ماذا يعني أن نحاكي قطعة من الكون في جهاز كمبيوتر تعمل فيه الجاذبية بحيث تتكتل المادة وتتحجر؟ بالطبع ليس هناك حيز مادي؛ إذ يتم كل شيء بواسطة خوارزميات ومئات الآلاف من سطور الشفرة البرمجية الحاسوبية. وحتى الحيز الرياضي يتغير باستمرار لكي يمثل نمو الكون وتبريده منذ الانفجار العظيم. ليست هناك مادة فعلية؛ فأفضل عملية محاكاة تحظى فحسب بمليارات قليلة من «الجسيمات» الحاسوبية المجردة لا تكافئ في عددها نجوم أصغر المجرات حجمًا. والزمن مضغوط ومشوه؛ إذ تحتاج مجموعة قوية من أجهزة الكمبيوتر إلى بضعة أسابيع لكي تعالج تاريخ الكون الممتد على مدار ١٣٫٧ مليار عام، لكن معظم وقت المعالجة يوجه إلى المليارات القليلة الأخيرة من الأعوام حين يكون الكون كبيرًا ويزيد عدد العمليات الحسابية بالتناسب. يجري تمثيل الجاذبية بدقة، لكن لا مفر من وضع تقديرات تقريبية للتفاعلات المعقدة بين المادة والإشعاع.[٦]

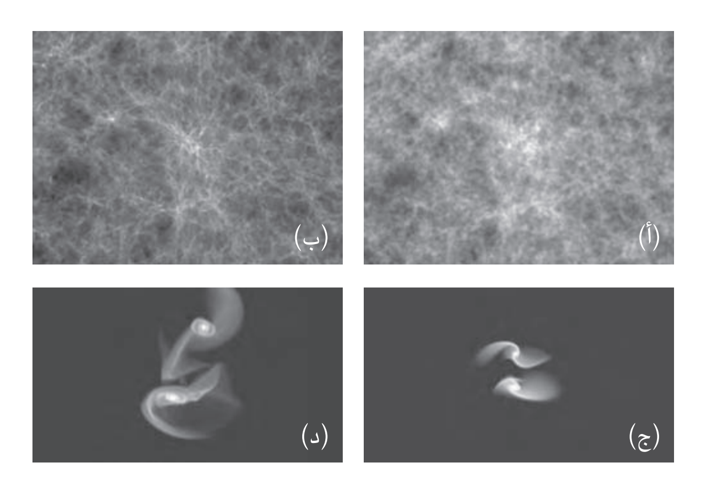
كل هذا ينبغي أن يشعر علماء الفيزياء الفلكية باليأس، لكن حين يشيح كارلوس فرينك بذراعيه في أحد المؤتمرات فإن هذا يكون مبعثه الابتهاج. وهو يتهلل قائلًا: «لا يمكنني أن أصدق أن الأمر يسير على هذا النحو الطيب؛ إذ تتضح صحة جميع خصائص المجرات — نسبة المجرات الحلزونية والتجمعات النجمية والزخم الزاوي — هذا أمر رائع!» لا يشعر كل من في القاعة بالاقتناع، بل يشعرون بالخداع، لكن لا شك أننا الآن نعلم القصة الأساسية لكيفية وصول كل المجرات، ومن بينها درب التبانة، إلى ما هي عليه اليوم.

بدأت مجرة درب التبانة في تجميع أجزائها بعد مرور حوالي مليار عام على الانفجار العظيم، وهذا جاء بعد مرحلة أولى كان الكون فيها صغيرًا وكثيفًا وشديد السخونة على نحو يصعب معه تشكل أي بنية. لم يكن هناك أي نجوم آنذاك؛ لذا يطلق علماء الفلك على تلك الأوقات اسم «العصور المظلمة». أطبقت الجاذبية قبضتها العنيدة على المادة المظلمة، محولة إياها إلى سحب غير مرئية جذبت الذرات العادية إلى مراكزها (الشكل ٩-٢).

تجمَّع الغاز بمراكز تلك التركيزات الضعيفة من المادة المظلمة التي تقل في ضخامتها عن مجرة درب التبانة بآلاف المرات. انهار الكثير منها مشكِّلًا النجوم الأولى في تاريخ الكون، لكن بعد مائة مليون عام أو ما يقارب ذلك ماتت تلك النجوم، ومات الضخم منها بعنف شديد أجبر الغاز المتبقي على التلاشي، وتوقف تشكل النجوم. من المرجح أنه لم يكن هناك أي شهود على أول ضوء للكون؛ إذ تشكلت أولى النجوم من الهيليوم والهيدروجين الخالص دون أي عناصر ثقيلة تسمح بظهور الكواكب أو الكائنات الحية.

بعد مرحلة المجرات الوليدة، حلت مرحلة الطفولة، وفيها نمت المجرات لتقترب من أحجامها النهائية. إن فترة «وجه الصباح المشرق» هي الحقبة التي جرت فيها عملية تشكل النجوم بقوة، وسطعت المجرات على نحو مماثل لما ستكون عليه في النهاية. وكانت القدرة الكهربائية للكون وقت هذه الذروة أعلى بمائة مرة عن الوقت الحالي.

في ثبات وصمت تندمج سحب المادة المظلمة لتشكل وحدات أكبر حجمًا، وداخلها تزداد سخونة الغاز المتصادم وتُشكل النجوم. من المرجح أن تكون مجرة درب التبانة قد تشكلت من سحب أصغر حجمًا من المادة المظلمة يقدر عددها بالمئات، ومع احتشاد أصغر السحب حجمًا تزداد سرعة إتمام العملية. وشمل التجميع النهائي للمجرة بعض عمليات الاندماج الكبرى مع مجرات متوسطة الحجم.[٧] ولأن المجرة بأسرها تدور حول



شكل ٩-٢: مقتطفات من «محاكاة الألفية»، وهي أكبر عملية محاكاة حاسوبية جرت على الإطلاق للبنية واسعة النطاق. تحتوي هذه المحاكاة على ١٠ مليارات جسيم من المادة المظلمة، وتستهلك ٣٤٠ ألف ساعة من زمن وحدة المعالجة المركزية لأجهزة الكمبيوتر. يغطي هذا العرض ٣ ملايين سنة ضوئية، وهو حيز صغير لا يمثل إلا ١ / ١٠٠٠ من حجم الكون المرئي. تجسد الصورة (أ) المشهد بعد مرور ٣٠٠ مليون عام على الانفجار العظيم، وفيه لا يزال الكون متجانسًا في معظمه، وتجسد الصورة (ب) المشهد بعد مرور مليار عام على الانفجار العظيم، وفيه تبدأ المادة المظلمة في التكتل إلى مناطق عالية الكثافة وأخرى قليلة الكثافة، وتجسد الصورة (ج) المشهد بعد مرور ٥ مليارات عام على الانفجار العظيم؛ أي منذ حوالي ٩ مليارات عام، حيث تتشكل العديد من المجرات في المواضع التي تركزت فيها المادة المظلمة، وتوضح الصورة (د) مشهد الكون في عالمنا اليوم، حيث تتوافر النجوم والمجرات والعناقيد النجمية بكثرة. (Carlos Frenk, University of Durham, and Millennium Simulation/VIRGO Consortium)

محورها من الطبيعي أن الغاز الموجود داخلها انهار على طول محور الدوران ليصير على صورة قرص. وطيلة مليارات قليلة من السنوات توهجت مجرة درب التبانة بسطوع براق وانهمكت بنشاط في تكوين النجوم.

لماذا لم تستمر هذه العملية حتى تتجمع كل المادة الموجودة في الكون ليتشكل عدد قليل من المجرات الضخمة؟ يرجع أحد أسباب ذلك إلى أنه مع استهلاك الغاز تبقَّى قدر

قليل لا يكفي لتشكل نجوم جديدة، والسبب الآخر يرجع إلى أن الكون كان يتمدد؛ من ثم كان اتحاد المجرات أقل تكرارًا. إن عملية تشكل المجرات مقيدة للذات؛ لذا لا تزيد المجرات في الحجم عن مجرة درب التبانة إلا في حالات نادرة.

يتابع كارلوس فرينك كل ذلك أثناء حدوثه، أو بالأحرى يشاهده على الكمبيوتر. إنه سعيد؛ فمجرة درب التبانة التي جرى محاكاتها تبدو تمامًا كالمجرة الحقيقية، وفي هذا يقول: «أجل، الأمر مذهل. أجل!»

(١-٥) ظهور واختفاء

حين بلغ الكون ثلث عمره الحالي لم تعد مجرة درب التبانة بسيطة. إنها تامة النمو ومعقدة، وصارت خشبة مسرح تستحق تمامًا مهرجان الحياة والموت الذي تستضيفه. ومن الطبيعي أن يعم المجرة الحرارة والضوء؛ لأنها الآن في أقصى عنفوانها، وكما يخبرنا الشاعر فإنها «تهدر كأتونٍ متقد».

نحن نعتقد أن النجوم مصابيح ضوئية، لكن ذلك ليس صحيحًا، ففي أغوار كل نجم ثمة أتون يعمل على اتحاد الأنوية الذرية تحت ضغط هائل. الاندماج النووي داخل الشمس يحول الهيدروجين إلى هيليوم، والاندماج النووي داخل النجوم الأكبر حجمًا من الشمس يحول الهيليوم إلى كربون، والكربون إلى ماغنسيوم وسليكون، والاندماج النووي في أضخم النجوم يحول الماغنسيوم والسليكون إلى حديد. تعمل كل الطرق الممكنة التي يمكن أن تتحد بها الأنوية الذرية على إثراء الجدول الدوري للعناصر، وهكذا نحصل على الكالسيوم لعظامنا، والنيون لأضوائنا الساطعة، والنحاس لنقودنا المعدنية.

تتلخص عملية تحويل العناصر هذه على النحو الأمثل على يد ألبرت أينشتاين. تصف معادلة أينشتاين، «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» كيف أن كمية بالغة الصغر من الكتلة تعادل كمية هائلة من الطاقة. عندما يتحول الهيدروجين إلى هيليوم في مركز الشمس تتحول نسبة ٠٫٧٪ من كتلة ذرات الهيدروجين إلى طاقة مشعة.[٨] هذه النسبة بالغة الصغر تتسرب في النهاية في الفضاء على هيئة ضوء للنجوم، يشبه الضوء المتسرب من نوافذ أحد المصانع. ليست النجوم مصابيح ضوئية وحسب، بل هي مصانع كيميائية، وأهم وظيفة لها هي تحويل العناصر.

يمكن للمحبين أن يكونوا أنانيين، وإن كانت النجوم تتصف بالأنانية ما كنت لأستطيع كتابة هذا، وما كنت لتستطيع قراءته. إن السمة المهيمنة على كل نجم هي

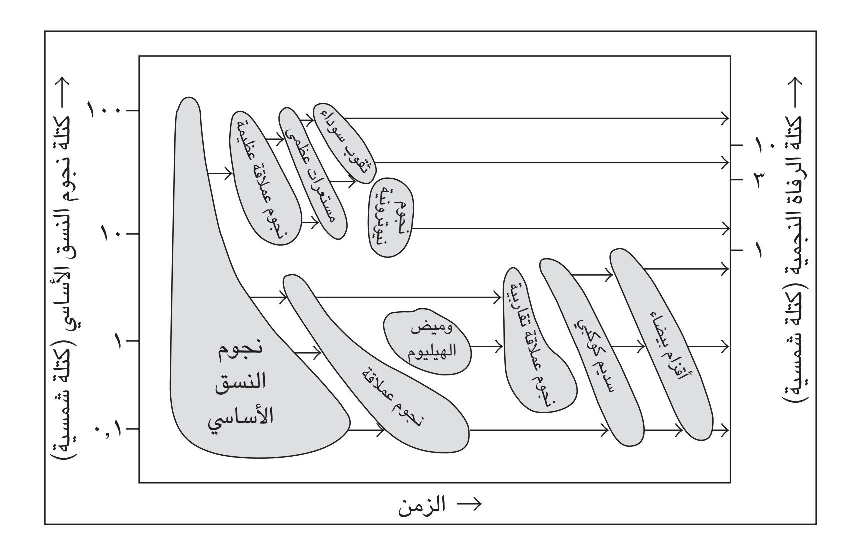
الصراع الهائل بين قوة الجاذبية التي تجذب للداخل وقوة الإشعاع الناتج عن التفاعلات النووية والتي تضغط للخارج. وفي الشمس، بينما تقرأ هذه الكلمات، ثمة تعادل بين القوتين؛ إذ لا تتقلص الشمس ولا تتمدد، وستبقى على حجمها الحالي مليارات الأعوام، لكن حين يفرغ الوقود النووي تمامًا لا بد أن تجد الشمسُ وكل النجوم أوضاعًا ثابتة جديدة. تتسبب محاولة القيام بذلك في إطلاق الغاز في الفضاء، وذلك الغاز غني بكل المعادن الثقيلة التي كوَّنتها النجوم في مراكزها. تنهي أضخم النجوم حياتها بالانفجار كمستعرات عظمى مطلقة الغاز الثري بالعناصر في الفضاء.

في الغابة يمكننا أن نشهد دورة الحياة، وللنجوم أيضًا دورة حياة، فكل نجم هو مصنع كيميائي، وكل نجم سيفقد بعضًا من مادته في الفضاء النجمي. ذلك الغاز قد يشغل أعماق الفضاء فترة طويلة للغاية من الوقت، لكن أكثر المناطق كثافة للمجرة ستحوي ما يكفي من الغاز الذي سينهار في النهاية ليشكل نجومًا جديدة. بعد ذلك تضيف تلك النجوم إلى مخزون العناصر الذي ورثته عن كل الأجيال السابقة من النجوم. ومع مرور الوقت، يزداد تركيز العناصر الثقيلة في أي مجرة على نحو ثابت. ولو كانت النجوم أنانية، لظل كل الكربون الذي خُلق حبيس مراكز النجوم، ولم تكن الحياة البيولوجية لتظهر للنور.

شهدت مجرة درب التبانة حالات ظهور واختفاء عديدة للنجوم على مدار عمرها البالغ ١٢ مليار عام، فمعظم النجوم تولد وتموت دون أن يصحبها عرض مذهل؛ لأنها متوسطة الحجم وأقل سطوعًا مئات المرات من الشمس. وجميعها يموت كجمرات تفقد حرارتها ببطء، يطلق عليها اسم الأقزام البيضاء. وفي الواقع تستغرق النجوم التي تقل في كتلتها عن ثلث كتلة الشمس وقتًا أطول من ١٢ مليار عام كي تحول كل الهيدروجين الموجود بها إلى هيليوم، وهو ما يعني أنه لم يمت منها أي نجم قط طيلة تاريخ مجرة درب التبانة. هذه الأقزام غير نشطة؛ إذ لا تشارك فيما يدور على خشبة المسرح وتحيا حياة هادئة ومنعزلة.

أما النجوم الضخمة فهي نجوم العرض التي تتألق في سطوع وتحتل مواضع بارزة، على غرار سديم الجبار. والوقت الذي تقضيه على خشبة المسرح قصير، فالنجم الذي يزيد في كتلته ١٠ مرات عن كتلة الشمس يقل عمره عن عمر الشمس بألف مرة، والنجم الذي يزيد في كتلته ٢٠ مرة عن كتلة الشمس يعيش بالكاد مليون عام؛ أي أقل من عمرنا نحن البشر، فالنجوم الضخمة سخية لدرجة السفه إن أمكننا القول. وهي

تتخلص من طبقاتها الخارجية في أواخر حياتها، وتقذف معظم المتبقي من كتلتها في النهاية حين تنفجر كمستعرات عظمى، مخلِّفة وراءها نجمًا نيوترونيًّا أو ثقبًا أسود (الشكل ٩-٣).



شكل ٩-٣: عرض تخطيطي للتطور النجمي، مع تدفق الوقت من اليسار إلى اليمين، وتزايد الكتلة رأسيًّا. عدد النجوم منخفضة الكتلة أكبر من النجوم مرتفعة الكتلة، وللنجوم الأعلى كتلةً حياة أقصر. تموت النجوم الضخمة بانفجار شديد، مخلفة وراءها نجومًا نيوترونية أو ثقوبًا سوداء، وتمر النجوم منخفضة الكتلة بمراحل احتضار عنيفة لكنها تموت في هدوء كأقزام بيضاء. (NASA/Chandra X-Ray Observatory)

ما علاقة هذا بنا؟ إن كل ذرة كربون ونيتروجين وأكسجين موجودة في حمضك النووي — أساس كل صور الحياة على الأرض — كانت موجودة من قبل داخل نجم بعيد في الفضاء. تلك الذرات قُذفت أو طرحت بعيدًا، وقضت دهورًا لا حصر لها وهي تنجرف في الفراغ في انتظار حدوث شيء مثير. وأخيرًا تجد نفسها داخل سحابة غاز وغبار منهارة، وتحتل موضعًا قريبًا يسمح لها بمشاهدة ميلاد نجم جديد. جُرفت هذه

الذرات إلى واحدة من كتل صخرية قليلة ثم دخلت على نحو شبه إعجازي في لولب الحياة المزدوج.

لا يمكننا أبدًا أن نعرف قصتها كاملةً، فالذرات عديمة اللون والرائحة والمذاق، وهي شديدة البساطة بما يمنعها من أن تحمل أي أثر مميز لرحلتها. من الممكن أن تكون بعض من ذراتك وذراتي قد تكونت مباشرة بعد الانفجار العظيم، وانتقلت من وإلى أعماق العديد من النجوم. وكما قالت الشاعرة والمؤلفة ديان أكرمان: «إننا جميعًا أبناء غير شرعيين للمادة.»

في قصتنا عن مجرة درب التبانة تظهر الشمس للوجود بعد ٨ مليارات عام من تكوُّن المجرة. من المخزي أن أقولها، لكن ليس هناك شيء مميز في نجمنا متوسط الوزن والحجم. هو مجرد واحد من عدة ممثلين، وفي غضون ٦٫٥ مليارات عام سيلقي خطبة وداعه ويخرج من المسرح. مجرة درب التبانة في مرحلة البلوغ الآن، وهي لم تتغير كثيرًا منذ تشكُّل المجموعة الشمسية. وتكمل النجوم الموجودة في قرص المجرة دورة كاملة كل ربع مليار عام، وتدور النجوم الموجودة في الهالة في حلقات دخولًا إلى قرص المجرة وخروجًا منه في مدارات بيضاوية. والفعل الوحيد يرد من التغير النجمي؛ إذ ينفجر مستعر أعظم كل خمسين عامًا أو نحو ذلك، وينفجر نجم ضخم كل ١٠ آلاف عام مطلقًا سيلًا من أشعة جاما. ويبدو أن شكسبير كان يعلم ذلك؛ إذ قال إن المجرة «زاخرة بوعود غريبة».

(٢) عمليات الاندماج والاستحواذ

(٢-١) الرقص مع المرأة المسلسلة

ما الذي ينتظر مجرتنا؟ إنه الزواج من المجرة «إم٣١»، طبقًا للحسابات التي أجريت حديثًا. في المرة التالية التي تخرج فيها في ليلة مظلمة في فصل الخريف انتبه لمجرة المرأة المسلسلة؛ المجرة إم٣١. ابحث أولًا عن المربع العظيم لكوكبة الفرس الأعظم. النجم الأيسر العلوي في المربع هو الفرس. عدَّ نجمين ساطعين إلى اليسار ثم نجمين باهتين إلى الأعلى. تقع إم٣١ مباشرة إلى أعلى يمين النجم الباهت الثاني. من السهل رؤيتها باستخدام منظار مزدوج، وهي تبدو كسحابة على شكل النقانق، أما رؤيتها بالعين المجردة فأمر أصعب، وربما تحتاج إلى استخدام أسلوب الحياد البصري؛ بمعنى التحديق في نجم

قريب منها، الأمر الذي يعمل على تنشيط الجزء الأكثر حساسية للضوء من شبكية العين لديك.

قد لا تبدو مجرة إم٣١ مبهرة للغاية، لكنها أبعد جسم ستراه على الإطلاق بعينيك المجردتين؛ إذ إنها تقع على مسافة ٢٫٢ مليون سنة ضوئية. هذه اللطخة الضبابية المرئية بالكاد بعيدة الآن على نحو كافٍ، لكن الفجوة تتضاءل بسرعة؛ إذ تقترب المجرة إم٣١ منا بسرعة فائقة تبلغ ١٣٠ كيلومترًا في الثانية (٣٠٠ ألف ميل في الساعة)، وفي غضون ٣ مليارات عام سنندمج مع أقرب مجرة لنا.

كان جون دوبينسكي قد استكشف النتائج المحتملة لهذا الاندماج. هو عالم كندي معسول اللسان، له شعر طويل ولحية صغيرة مشذبة، وقد استخدم التقنيات نفسها التي استخدمها كارلوس فرينك في إعداد نموذج الاصطدام الكوني. هذا النوع من المحاكاة يتطلب قوة حاسوبية هائلة؛ لذا استخدم دوبينسكي كل المعالجات البالغ عددها ١١٥٢ معالجًا في الحاسب المسمى «الأفق الأزرق» في «مركز سان دييجو للحاسبات الفائقة» في تتبع النجوم البالغ عددها ١٥٠ مليار نجم في كل مجرة. وحتى الأشخاص الذين قد يضجرون من القوة المتزايدة للحاسبات الشخصية سينبهرون بهذا العمل الفذ؛ إذ استخدمتْ عملية المحاكاة التي قام بها جون ذاكرة تفوق ألف مرة تلك الموجودة في الحاسب الشخصي التقليدي، وسجلت ٣٠٠٠ قرص فيديو رقمي للبيانات يوميًّا، وأجرت تريليون عملية كل ثانية. الأمر أشبه بقيام كل شخص على الأرض بإدخال عمليات حسابية على مائة آلة حاسبة كل ثانية.

طيلة ملياري عام لن يحدث الكثير، فمجرة درب التبانة تستحوذ على عدد قليل من جاراتها الأصغر الغنية بالغاز، مستخدمةً الغاز في تشكيل نجوم جديدة، والعمل سريعًا على دمج النجوم في القرص، لكن التجاذب أمر لا يمكن إنكاره؛ إذ لا تستطيع المجرتان مقاومته.

تصادم المجرات يختلف تمامًا عن التصادم بين الأفراد أو الأجسام في حياتنا اليومية، فعندما تلتقي المكونات الغازية لكلا القرصين ينضغط الغاز ويسخن، فيتوهج بالضوء الوردي المميز للعنصر المهيمن فيه؛ الهيدروجين. لكن حين تتقابل مجموعتا النجوم تكون النتيجة معقدة ومفاجئة. يكون التصادم معقدًا لأن للجاذبية قوة مطلقة، ومن ثم يتأثر كل نجم بجميع النجوم الأخرى الموجودة في كلتا المجرتين، كما يكون مفاجئًا لأن المسافة بين النجوم كبيرة للغاية، وكأنها حبيبات رمل يبعد بعضها عن بعض مئات عديدة من الأقدام.

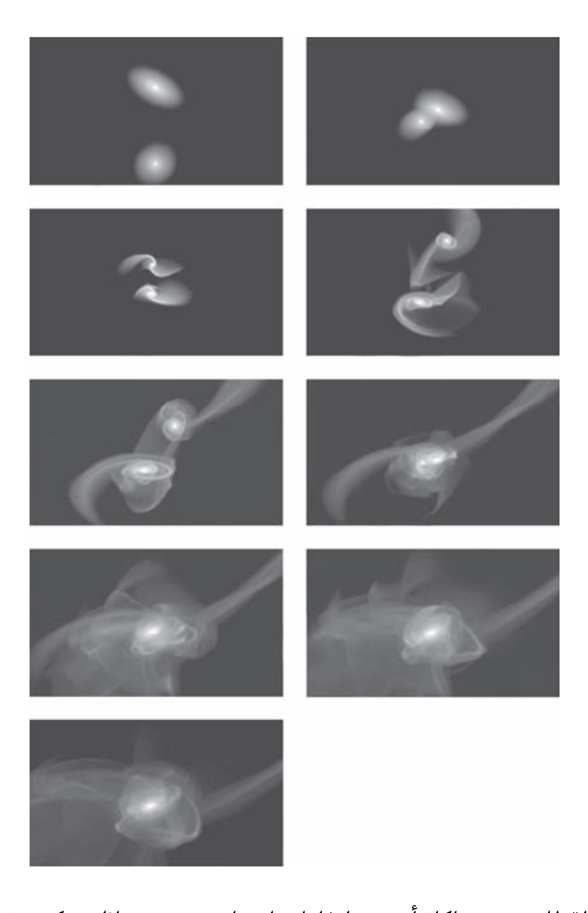
ستمر المجرتان إحداهما عبر الأخرى كشبحين، ثم تنخرطان في رقصة جاذبية معقدة. سيستغرق طقس المغازلة هذا مئات الملايين من السنوات، ولو ظل البشر موجودين ليشهدوا هذا فسيرون مجرة إم٣١ تقترب بدرجة كافية بحيث تملأ سماء الليل بأكملها. ونحن نبدأ المرور خلال المجرة إم٣١ ستحث الجاذبية حلقات وتموجات في توزيع النجوم، وستدفع بقوس ضخم يحوي حوالي مليار نجم إلى الفراغ بين المجرات.

ستمر ٥٠٠ مليون عام أخرى تواصل فيها المجرتان التفاعل فيما بينهما وزلزلة إحداهما للأخرى، لكن معظم النجوم سوف تستقر تدريجيًّا في مركز الجاذبية المتحد (الشكل ٩-٤). سيتحول الغاز الموجود بكل مجرة إلى نجوم جديدة، وستموت النجوم الضخمة على نحو صاخب كمستعرات عظمى. سيتعرض كلا القرصين للاضطراب، وسيأخذ التوزيع النهائي للنجوم الشكل الانسيابي للمجرة البيضاوية ذات المركز المكثف المحكم، والمحاطة بالحطام المتخلف عن طقس التزاوج العنيف. في هذا الزواج الغريب سيندمج شريكان، ويتحولان إلى كائن جديد. وسوف تستغرق المغازلة بينهما، من البداية إلى الاكتمال، مليار عام. لا داعي للعجلة.

حتى عندما تلتهم إحدى المجرات مجرة أخرى تتخلف تأثيرات دقيقة في الحركات المدارية وأنماط الوفرة الكيميائية لنجومها. لقد التهمت مجرة درب التبانة عددًا من المجرات القزمة على مدار مليارات الأعوام الماضية، وبعضها تمدد كالشريط المطاطي في هالة مجرتنا. تنبئنا الآثار المتخلفة بعملية الالتهام التي وقعت، ومن ثم يفترض أن يكون باستطاعة علماء الفلك في المستقبل البعيد للغاية أن يستنتجوا أن المجرة الواحدة التي يرونها تشكلت من مجرتين حلزونيتين.

يملك جون دوبينسكي من روح الشاعر ما يمكنه من إدراك جمال عملياته الحاسوبية. وقد تعاون مع جون فرح، مؤلف الموسيقى الإلكترونية، من أجل تجسيد التصادم الكوني موسيقيًّا. لقد استخدمت الموسيقى بنجاح لاستحضار عظمة الفضاء في أفلام مثل «٢٠٠١: أوديسا الفضاء» للمخرج ستانلي كوبريك وعدد لا حصر له من عروض القباب السماوية. طرح فرح ودوبينسكي عام ٢٠٠٦ مقطوعات موسيقية لعدد من تصورات حركة المجرات على قرص فيديو رقمي بعنوان «جرافيتاس».

من الصعب التنبؤ بمصير الشمس والأرض في هذا السيناريو؛ لأنه لا يمكن إجراء عمليات المحاكاة لنجم واحد على نحو موثوق به، لكن الباحثَين تي جيه كوكس وآبي لويب بمركز «هارفارد سميثونيان للفيزياء الفلكية» أجريا حسابات دقيقة بما يكفي



شكل ٩-٤: لقطات من محاكاة أجريت لتفاعل واندماج مجرتين هائلتين كمجرة درب التبانة والمرأة المسلسلة. استخدم جون دوبينسكي أسرع جهاز كمبيوتر في كندا (يحتل المرتبة رقم ٣٩ في سرعته على مستوى العالم) لكي يشاهد تفاعل الجاذبية الدقيق للمجرتين اللتين تحوي الواحدة منهما ١٥٠ مليون «جسيم». ويمتد التفاعل على مدار ٢٫٥ مليار عام. (John Dubinski, University of Toronto)

لتوقع الاحتمالات.[٩] خلال اللقاء الأول، سيحدث صدام جانبي بعد نحو مليارَي عام من وقتنا الحالي، وثمة احتمال بنسبة ١٢٪ بأن تنجرف الشمس بفعل الجاذبية ويُقذف بها

في أغوار الفضاء بين المجرات، وثمة احتمال نسبته ٣٪ أننا سنترك مجرتنا وننضم إلى مجرة المرأة المسلسلة حتى اكتمال الاندماج. وأكثر النتائج ترجيحًا لمجموعتنا الشمسية هي خروجها من الهالة، وهذا يمنحنا موقعًا ممتازًا لمشاهدة المجرة الجديدة المدمجة التي أطلق عليها كوكس وليوب اسم «ميلكوميدا».

لكن ثمة احتمالًا مساويًا تقريبًا بأننا سنندفع تجاه كومة النجوم الموجودة في مركز المجرة الجديدة، الذي يمكن أن يسمى «المعدة المستديرة الكبيرة». ولكي نتابع الجزء التالي من القصة، سنتحول إلى قلب الظلام الكامن في كل نظام رئيسي للنجوم.

(٢-٢) قلب المجرة المظلم

في عام ١٩٣٠ كان كارل جانسكي يعمل مهندسًا متخصصًا في موجات الراديو بمختبرات «بيل»، وكان يحاول تتبع مصدر غامض للشحنات الاستاتيكية التي كانت تشوش على المكالمات الهاتفية العابرة للمحيط الأطلنطي. بنى جهاز استقبال إذاعي، وبعد أن استبعد العواصف الرعدية القريبة والبعيدة تبقَّى له مصدر التشويش الإذاعي القادم من السماء، وكان يأتي مبكرًا بمقدار أربع درجات كل يوم، وهو ما يعني أن للتشويش مصدرًا فلكيًّا. كان هذا الانبعاث الكثيف واردًا من كوكبة الرامي؛ أي في اتجاه مركز مجرة درب التبانة.

أبدى علماء الفلك اهتمامًا قليلًا بما توصل إليه جانسكي. نُشر الاكتشاف في دورية لمهندسي الراديو، وكانت تقنية موجات الراديو حديثةً للغاية، حتى إن معظم علماء الفلك لم يعرفوا كيفية تفسير النتائج. وفي ستينيات القرن العشرين اكتشف علماء الفلك أيضًا انبعاثًا كثيفًا للأشعة تحت الحمراء من كوكبة الرامي؛ هذه الموجات الطويلة يمكنها بسهولة أن تخترق الغبار وتصل مباشرة إلى قلب المجرة. وحين اكْتُشِفَ أيضًا انبعاث الأشعة السينية صار واضحًا أن النجوم لا يمكن أن تكون مسئولة عن هذا النشاط المركز. كان المصدر المحتمل ثقبًا أسود عملاقًا، فمع أن أي ثقب أسود يحبس كل المادة والإشعاع داخل أفق الحدث الخاص به، تُسرع الجاذبية الشديدة الموجودة بالقرب من أفق الحدث من حركة المادة وتسبب انبعاثًا كثيفًا له عدة أطوال موجية. وخمن المنظرون أن مجرة درب التبانة تُئوي ثقبًا أسود أضخم حجمًا من أي نجم.

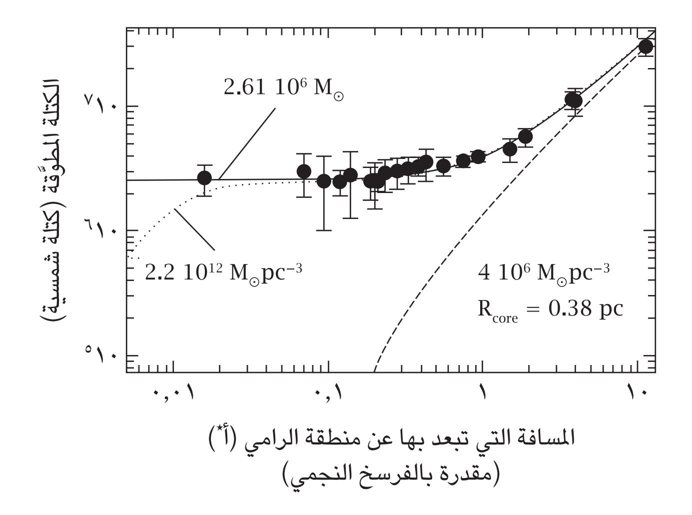
تحاول أندريا جيز، من فوق قمة بركان خامل في هاواي، أن تقيس الثقب الأسود بدقة أكبر من أي وقت مضى. حصلت أندريا على الدكتوراه من معهد كاليفورنيا

للتكنولوجيا (كالتيك)، وهي كبيرة الأساتذة بجامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس. بزغت أندريا كشخصية لامعة في مجالها حين انتخبت عضوًا في «الأكاديمية الوطنية للعلوم» قبل بلوغها العقد الخامس من عمرها، وحازت حديثًا على درجة زمالة «العباقرة» التي تمنحها مؤسسة ماكارثر. وهي تستخدم التليسكوب «كيك» الذي يبلغ قطره عشرة أمتار في هاواي ست مرات سنويًّا لكي تعد صورًا عالية الوضوح بالأشعة تحت الحمراء لمركز المجرة. يشتمل المرصد على جهاز ليزر خاص ينشئ نجمًا صناعيًّا في السماء؛ ليسمح لعلماء الفلك بتعويض التأثير الضبابي للحركات المضطربة في الغلاف الجوي للأرض.

لكن في هذه الليلة بالذات يصيب الجهاز عطل، وتعاني جيز نوبة صداع. هي لا تستطيع أن تحدد هل بسبب الارتفاع — الذي يبلغ ٤٢٠٠ متر مما يسبب النزيف الأنفي — أم بسبب الجهاز المتوقف عن العمل. فعادةً ما يوجه علماء الفلك التليسكوب كيك عن بعد من المكتب في وايميا، وهي بلدة جميلة تشتهر بتربية المواشي تبعد ١٥ دقيقة فحسب عن شاطئ رائع لركوب الأمواج. لكن حين يكون الجهاز جديدًا وغير مجرب، يُنجز العمل الشاق فوق قمة الجبل. تصحح أندريا أبحاث الطلاب والمهندسون محتشدون حول الجهاز الذي يزن ألفي كيلوجرام. تأمل أندريا أن يلتقطوا الفوتونات قبل بزوغ الفجر.

لم تكن أندريا أول من يستخدم حركات النجوم في تقدير كتلة الثقب الأسود في مركز مجرتنا؛ فهي تخوض منافسة ضارية لكن ودودة مع رينهارد جينزل ومجموعته في ألمانيا. وتأمل أندريا أن يمنحها مرصد كيك الأفضلية لأن آلاته تسمح بقياس المدارات الفعلية للنجوم أثناء التفافها حول الثقب الأسود بسرعة ١٣٠٠ كيلومتر في الثانية (٣ ملايين ميل في الساعة). وبالتطبيق المباشر لقوانين نيوتن قدرت كتلة الثقب بأنها تفوق كتلة الشمس بما يعادل ٤٫٣ ملايين مرة.[١٠] ونظرًا لأن الكتلة المسببة للحركة تدور حولها النجوم في مدار محدود لا تتجاوز مساحته أربعة أيام ضوئية فحسب، فمن المؤكد أنها ثقب أسود (الشكل ٩-٥).

تتسم أندريا بالكياسة واللباقة، وذلك في مجال يهيمن عليه الرجال المتنافسون المتسمون بالخشونة أحيانًا. ترعى أندريا أسرتها وتقضي وقتًا أكثر في التدريس والعمل مع طلاب الجامعة أكثر من معظم الباحثين ذوي المنزلة نفسها. يبدو أنها تعلم كم هي محظوظة أن تكسب قوتها من التفكير في الثقوب السوداء.



شكل ٩-٥: تُستخدم مدارات النجوم في حساب الكتلة المطوَّقة ذات المسافة المتناقصة نحو مركز المجرة، التي يميزها المنطقة المسماة بمنطقة الرامي (أ*). يوضح الخط المتقطع الإسهام المتواصل في الكتلة من طرف مجموعة عادية من النجوم قرب المركز، وهناك كتلة أكبر بكثير مما يمكن لجاذبية النجوم العادية تفسيره. تستقر الكتلة المطوَّقة عند الكتلة المتوقعة للثقب الأسود، التي جرى تعديلها حديثًا إلى ٤,٣ ملايين كتلة شمسية. (Reinhard Genzel and Thomas Ott, Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics)

(٢-٣) مستقبل جديد ساطع

بعد أن توحِّد مجرتا درب التبانة والمرأة المسلسلة قواهما وتتحولا إلى مجرة بيضاوية، من المتوقع حدوث شيء ممتع للغاية في مركز المجرة الجديدة، فمجرة إم٣١ بها حوالي تريليون نجم؛ لذا تبلغ كتلتها ضعف كتلة مجرتنا، وبها ثقب أسود أكبر حجمًا من الثقب الموجود بمجرتنا بثلاثين ضعفًا؛ أي يزيد في كتلته ١٤٠ مليون مرة عن كتلة الشمس. في السنوات العشر الماضية اكتشف علماء الفلك أن كل المجرات الضخمة تُئوي ثقوبًا سوداء، لكن في معظم الحالات، وكما هي الحال مع مجرة درب التبانة، يشكل الثقب الأسود جزءًا ضئيلًا من كتلة المجرة، ويكون هناك قدر قليل من الغاز في المركز كي يلتهمه. نتيجة لذلك يكون الثقب الأسود معتمًا، ولو نظرت إلى مجرة درب التبانة

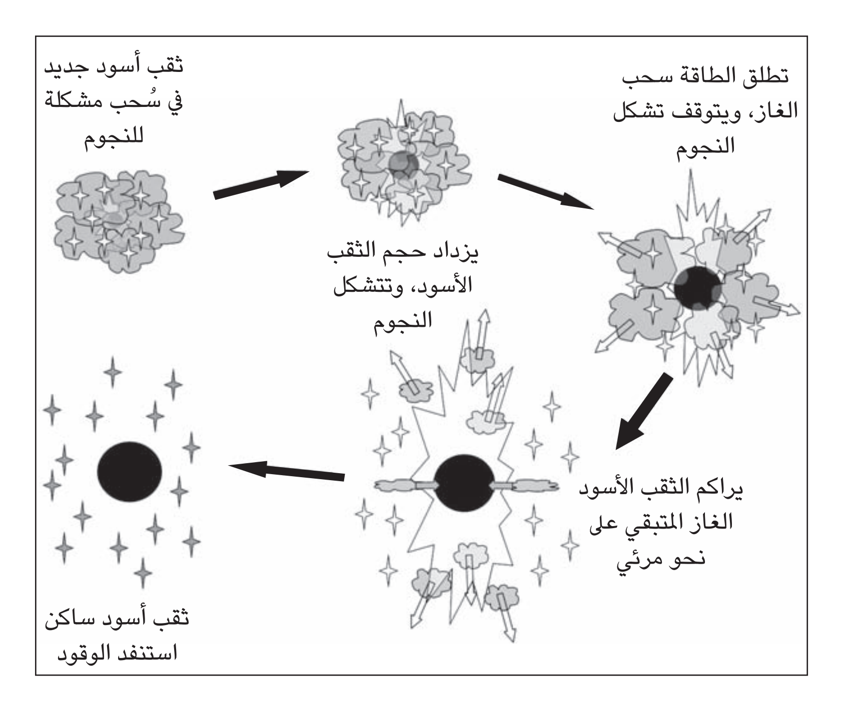
لن تشك أبدًا في وجود هذا الثقب في مركز المجرة، وحين يلتهم ثقب أسود كبير ما يصل إليه بحماسة، يتحول إلى نجم زائف.

يبلغ فيل هوبكنز من العمر ٣٠ عامًا، لكنه يبني النجوم الزائفة بالفعل على مدار الخمس سنوات الماضية. حصل فيل على الدكتوراه من جامعة هارفارد، وبعد تخرجه صار «شخصًا محل ثقة» لعلماء الفلك الذين يريدون فهم بياناتهم. كان أستاذه رئيسًا لقسم الفلك؛ لذا تعلَّم فيل كيف يعاونه. يدخل فيل بيانات الغاز والنجوم والمادة المظلمة في أحد أجهزة الكمبيوتر، ويضيف «بذرة» ثقب أسود معتدلة الحجم إلى المركز، ويجلس ليرى ما يحدث. يمكنه أن يزيد من معدل مرور الوقت أو من كتلة الثقب الأسود بأن يكتب سطورًا قليلة من الشفرة البرمجية. إن وجد أن عملية حاسوبية معينة مملة إلى حد ما، يمكنه أن يضيف مزيدًا من الإثارة إليها عن طريق إضافة عدد قليل من تصادمات المجرات. إنها متعة طيبة لشخص ضليع في العمل على الكمبيوتر.

سيرسل الاندماج الذي سيؤدي إلى وجود مجرة ميلكوميدا سحبًا من الغاز يصطدم بعضها ببعض؛ وهو ما سيحفز انهيارها، وستتشكل حشود من النجوم في مراكزها. كل هذا سيحدث على مساحة الخمسمائة سنة الضوئية التي تحتلها المجرة الجديدة القوية، في نوبة تشكُّل للنجوم تسبب التوهج الكثيف لتلك المناطق. سيكون من الممتع التطلع إليها.

إن الغاز الموجود بالقرب من مركز هذه المنطقة المشكلة للنجوم غير مرئي، وذلك بسبب امتزاج الغبار مع الغاز على نحو يحجب الرؤية من الخارج، وسيشهد هذا الغاز حراكًا. ستحثه الجاذبية على التجمع في إحدى سحب الغاز القريبة، لكنه سيتعرض لجاذبية أقوى من الثقب الأسود في المركز. سيسقط الغاز في براثن الثقب الأسود بسرعة شديدة، حتى إنه سينمو إلى حجم رهيب، وفي غضون ١٠٠ مليون عام فحسب ستزيد كتلته من بضعة ملايين ضعف كتلة الشمس إلى بضعة مليارات ضعف كتلة الشمس.

يضحك فيل ضحكة خافتة أثناء وصفه لما سيحدث بعد ذلك. سيتغذى الثقب الأسود جيدًا، وسيستخدم قوته المكتشفة حديثًا بحماس كي يشع الضوء والأشعة السينية والجسيمات عالية الطاقة.[١١] وعند مشاهدة المركز من مسافة آمنة سيزداد سطوعًا عن المجرة التي تحيط به، حتى إنك لو ابتعدت حتى تغيب المجرة عن نظرك فسيظل المركز مرئيًّا كنقطة ضوء. حين يتغذى ثقب أسود عملاق ضخم على المادة الواقعة تحت تأثير الجاذبية يمكن أن يشع الجسم المضيء الناتج بريقه في المجرة المحيطة بأكملها، ويسمى وقتها بالنجم الزائف!



شكل ٩-٦: في هذا السيناريو التطوري ينمو ثقب أسود ضخم موجود في مركز إحدى المجرات وسط نوبة لتشكل النجوم محجوبة عن أي راصد خارجي، إلى أن تذهب دفقات الطاقة بالغاز بعيدًا ويخمد النشاط. يتضور الثقب الأسود جوعًا طلبًا للوقود ويصير ساكنًا، بعدها يتساقط الغاز تدريجيًّا إلى مركز المجرة، وتبدأ دورة جديدة من النشاط. (Alexander J. Blustin, University of Cambridge, Matthew Page and Rebecca Smith, UCL/Mullard Space Science Laboratory)

لكنه بهذا يبذر بذور هلاكه، فهذا الإطلاق المذهل للطاقة يجتذب الغاز والغبار من المناطق المركزية، وهو ما يجرد الثقب الأسود من مادته الخام، وبعد ١٠ ملايين عام من الوهج الساطع سيتضور النجم الزائف جوعًا في صمت، وسيتضاءل ضوؤه إلى مستوى متوسط. سيظل الثقب الأسود كبيرًا وجائعًا لكنه ينتظر بصبر فحسب (الشكل ٩-٦)، وبعد مائة مليون عام أخرى سيكون قد جذب إليه قدرًا كافيًا من الغاز لكي يبدأ نوبة أخرى من النشاط، وتتكرر الدورة.

ليس من المؤكد أن ينتهي مستقبل مجرتنا كنجم زائف. صحيح أن التفاعلات وعمليات الاندماج ترتبط بالنشاط النووي، لكن الأمر ليس حتميًّا؛ فبعض عمليات الاندماج لا تؤدي إلى نجوم زائفة، وبعض النجوم الزائفة لا تبدو وكأنها ناتجة عن عمليات اندماج.[١٢] وإن تصادف حدوثه في منطقتنا فستبدأ مرحلة النجم الزائف حين تكون الشمس قرب نهاية حياتها، وأي شخص موجود على الأرض في ذلك الوقت سيرى المركز الساطع لمجرة ميلكوميدا في السماء أثناء النهار، وهو يفوق في بريقه أي نجم أو كوكب. لا تزال المجرة تملك نارًا في داخلها، حتى وهي في أواخر عمرها.

إن مرحلة النجم الزائف في مجرتنا وفي أي مكان في الكون لن يشهدها سوى الخبير طويل العمر، أما الكائنات ذات نطاقات الاهتمام القصيرة أو ذات الأعمار القصيرة فستكتفي بالتسلية بمشاهدة الموت العنيف للنجوم أو أنماط النجوم التي تتغير تدريجيًّا في سماء الليل، ولن يكون بمقدور أي أنواع سوى تلك التي قهرت الزمن أن تشاهد صعود وهبوط النجوم الزائفة عبر الأكوان، وتستمتع بالبيان الطنان الذي ستلقيه مجرتهم حين تُنشِّط الوحش القابع في مركزها: العرض الضوئي منقطع النظير.

الفصل العاشر

شيخوخة مجرة درب التبانة

لمجرة درب التبانة مليارات من الحكايات، وليس منها ما هو قليل الشأن كي يُغفل. فكِّر في التالي: حكاية ذرة كربون؛ فبين مليارات النجوم والكواكب المصاحبة لها في المجرة، تعد ذرات الكربون فريدة تمامًا.

حين تشكلت المجرة من سُحب الغاز المنتشر الدوارة، وبردت مع اتساع الفضاء منذ الانفجار العظيم، لم يكن لذرتنا مكان وقتها. من النادر ملاحظة الكربون في كون تملؤه المادة البدائية، ومع ذلك فقد تشكلت ذرتنا في فترة شباب مجرة درب التبانة، حين اضطلع نجم ضخم بسلسلة من عمليات الاندماج النووي، محولًا ثلاث نوى من الهيليوم الخامل إلى نواة كربون واحدة مليئة بالوعود.

ذلك النجم ضخم، ويلتهم المادة على نحو مفرط. تتسبب الحركة التي تموج بها أحشاؤه في إرسال ذرتنا إلى طبقاته الخارجية الأكثر برودة، ثم يطرح النجم في وقت لاحق من حياته أغلفة وخيوطًا من الغاز في فراغ الفضاء النجمي. تمر مليارات السنوات، وتشعر الذرة بشدة بطيئة — لكن قوية — نحو منطقة قريبة من الفضاء يجمع فيها سديم نجمي أولي شتات نفسه. يتشكل نجم صغير أصفر اللون منتفخ؛ تشاهد ذرتنا المشهد من مسافة آمنة. إنها مجرد سخام. وفي رقصة رقيقة للجاذبية تندمج الذرة في تكوين صخري يبعد عن النجم بمسافة ١٠٠ مليون ميل.

بعد مليارات الأعوام من الحركة المتواصلة داخل المركز النشط للكوكب يحدث شيء غريب للغاية؛ لفترة قصيرة للغاية — لا تزيد عن ومضة عين في دهور الكون — تصبح ذرتنا جزءًا من التفاعلات المعقدة للغلاف الحيوي. هذه الذرة هي نحن.

تنقضي اللحظة، وتُدفَن ذرة الكربون مجددًا في صخرة وتُنقل عبر أحزمة الصهارة في بطء عبر طبقات الكوكب، بعد ذلك تتحرر الذرة حين يقذف بها بعنف

في الهواء من خلال أحد البراكين، وبعد فترة أطول بكثير تصل ذرتنا إلى الغلاف الجوي وتتحد مع ذرتي أكسجين، وتتسرب إلى الفضاء العميق، وتتحرر أكثر.

يفقد الزمن معناه مع انجراف ذرة الكربون بين النجوم، لكنها في النهاية تشعر بشدة قوية مألوفة، وتدخل للمرة الثانية في عالم النجوم. هذا النجم أصغر بكثير من ذلك الذي بث فيها الحياة، وتكون الذرة بمعزل عن التفاعلات التي تستهلك الجسيمات القريبة، وفي النهاية لا يكون لدى النجم الكثير لإعطائه، ويستقر في صورته المضغوطة، وتقع ذرتنا الكربونية الجريئة حبيسة المركز المنهار على ذاته.

تدخل ذرتنا في حالة من الراحة، لكن دون الشعور بأي راحة؛ إذ إنها تومض بالحركة في الشبكية البلورية لقزم أبيض. لن تلين الجاذبية؛ فهذا هو المأوى النهائي لكل ذرة تجد نفسها في قلب نجم ميت. ستطلق الذرة محتواها الأخير من الحرارة في الفضاء حتى لا يتبقى لديها شيء تعطيه سوى الظلام؛ هكذا انتقلت من السخام، إلى ذرة نابضة بالحياة، إلى ماسة سوداء خالدة.

* * *

(١) التلاشي حتى الظلام

(١-١) انحسار الضوء

التقدم في العمر أمر مؤسف. نحن نتحدث عنه على نحو طيب، لكن لا يمكن لأحد أن يسعد مع ذبول الجسد وضعفه وفقدان المخ لقدراته. ماذا عن مجرتنا؟ هل تمضي مجرة درب التبانة في هدوء إلى الظلام، أم هل «تهتاج وتهتاج ضد وفاة الضوء» مثلما حض ديلان توماس والده الواهن؟ أحيانًا تتبع المجرة النهج الأخير، لكنها على وجه العموم تتبع النهج الأول. تجد مجرة درب التبانة في عقدها السادس من المنظور الشكسبيري «عالمًا واسعًا للغاية للجسد النحيل الذابل» وتخبو مثلما «يتحول صوت المرء الذكوري القوي ثانية إلى الصوت الطفولي عالي الطبقة».

نحن بحاجة إلى تقديم منظور جديد للزمن ونحن نتحدث عن مصير المجرة. تبلغ المجرة من العمر الآن حوالي ١٢ مليار عام، وقد تتبَّعنا حالها في المستقبل خلال ٤ مليارات عام قادمة تمر فيها بعملية الاندماج مع مجرة المرأة المسلسلة وصولًا إلى مرحلة النجم الزائف العرضية. ما يحدث بعدها سيمتد على مدار ١٠ تريليونات عام. وإن شُبِّهَ

هذا النطاق الزمني بفترة تمتد عامًا واحدًا، فسيكون قد انقضى من عمر الكون حتى هذه النقطة ١٠ ساعات فحسب. إننا في سبيلنا لدخول عالم الزمن العميق.

كانت النجوم تخلِّق عناصر الحياة الأساسية — الكربون والنيتروجين والأكسجين — وتقذف بها بقوة في الفضاء دون أنانية منها لكي تصبح جزءًا من أجيال متتالية من النجوم والكواكب. إنها فكرة جذابة: وفاة النجم تصنع حياة جديدة. ومع مرور الزمن تصير مجرتنا وكل المجرات الأخرى أكثر حيوية، ونأمل أن تصير أكثر ذكاءً.

للأسف تعترض الطبيعة على ذلك، فمع تقدم مجرة درب التبانة في العمر، سيوضع حد لدورة حياة النجوم ووفاتها على نحو يتعذر تغييره، فالنجوم تتكون من الغاز الوفير الذي احتوى الكون عليه حين كان صغير السن. والآن، بعد حوالي ١٤ مليار عام من الانفجار العظيم، تجمع معظم الغاز المنتشر بالفعل. تلفظ النجوم المسنة جزءًا من غازها، وتثري عملية إعادة الاستخدام تلك ذلك الغاز بالعناصر الثقيلة، لكن مع مرور الدهور يبطئ تدفق الغاز المعاد استخدامه إلى حد هزيل، وعند نقطة ما سيتوقف تمامًا.

إن تطور النجوم أمر منافٍ للمنطق، فمن الظاهر يبدو أن النجم الكبير يجب أن يدوم فترة أطول من النجم الصغير. في الحقيقة، العكس هو الصحيح، فالنجوم كبيرة الحجم مبذرة؛ إذ تحرق وقودها خلال وقت قصير للغاية من وقت الكون، في حين تتصف النجوم الصغيرة بالشح وأنها قادرة على البقاء وقتًا طويلًا للغاية مستندة إلى مخزون صغير من الهيدروجين.[١] فالنجم الذي تزيد كتلته عشر مرات عن كتلة الشمس يدوم ٢٠ مليون عام، وهو وقت أقل مما استغرقه وجود الحيتان في المحيطات. أما النجم المماثل للشمس في كتلته فيدوم ١٠ مليارات عام، لكن النجم الذي يقل في كتلته عن عُشر كتلة الشمس — وهذا هو حجم أصغر كتلة غازية يمكن أن تكون نجمًا — فيمكنه أن يحول الهيدروجين إلى هيليوم لمدة ١٠ تريليونات عام. إنه نجم مثير للشفقة؛ إذ يكون أقل عتامة من الشمس بعشرة آلاف مرة. وحتى حين يتوقف تفاعل الاندماج النووي، يتبقى قدر من الحرارة في ذلك الغاز؛ لذا يستغرق الأمر ١٠٠ تريليون عام كي يفقد القزم الأحمر حرارته ويصير قزمًا أسود غير مرئي.

شكَّلت المجرات البيضاوية النجوم بفعالية شديدة في وقت مبكر من أعمارها، لذا نفد غازها منذ وقت طويل؛ من ثم تتقدم في العمر وتصير أكثر احمرارًا على نحو ثابت، أما في المجرات الحلزونية كمجرة درب التبانة فيعني الانخفاض النهائي في تشكُّل النجوم أنه لم يتبقَّ نجوم أخرى ضخمة بما يكفي كي تموت كمستعرات عظمى، وهو

ما يخلف النجوم النيوترونية المظلمة والثقوب السوداء فحسب. لم تعد التغيرات النجمية العنيفة تغذي الفضاء بالمادة اللازمة لتكوين نجوم جديدة. الأقزام الحمراء هي آخر ما يتبقى من النجوم. وطيلة تريليونات الأعوام تكد هذه النجوم من أجل بث الضوء من تفاعلات نووية ضعيفة (بالنسبة للنجم تعد صفة ضعيف صفة نسبية؛ فدرجة حرارة سطح النجم القزم الأحمر تبلغ مئات الدرجات، في حين تبلغ درجة حرارة جزئه الداخلي ملايين الدرجات). وحتى النيران المتقدة للأقزام الحمراء ستخمد في جميع أنحاء المجرة في غضون ١٠ تريليونات عام.

يُعفى الثقب الأسود المركزي الهائل جزئيًّا من هذا الجمود النجمي، فمع استنفاد الغاز لا يمكن للثقب أن يتغذى على الطعام الذي يجعله يضيء بسطوع. لقد انتهت مرحلة النجم الزائف، لكن لا يزال بمقدور هذا المصدر الهائل للجاذبية أن يجذب النجوم التي تحملها مداراتها لمسافة قريبة منه (لن يكون أحفادنا في خطر؛ فالثقب الأسود الموجود في مركز المجرة بعيد للغاية بما يمنعه من التأثير على المجموعة الشمسية). يواصل الثقب الأسود التغذي على النجوم في صورة وجبات خفيفة، وفي كل مرة يدخل فيها نجم إلى أفق الحدث يرى الراصد من بعد وميضًا من الضوء.

هذه هي نهاية عصر النجوم. الأمر يبدو كما لو أن مجرة درب التبانة مثبت بها مفتاح إعتام كبير، والطبيعة تقلل طاقتها ببطء شديد. ولأن مجرتنا ليست مميزة، فالشيء نفسه سوف يحدث في كل مجرة من المجرات الأخرى في الكون البالغ عددها ٥٠ مليار مجرة. والاستثناءات الوحيدة لقاعدة الضوء المتناقص ستكون المجرات الموجودة في عناقيد غنية، حيث يمكن لعمليات الاندماج وحركة الجاذبية أن يبقيا على عملية تشكل النجوم مستمرة فترة أطول قليلًا. وفي النهاية، حتى العناقيد المجرية ستتحول إلى مجرات فائقة شاسعة تحوي نجومًا ميتة وأخرى تحتضر.

(١-٢) جثث متنوعة

لندخل عصر الجثث النجمية. لقد فقد الكون ضياءه. يكشف مخزون البقايا المتوقعة عن وجود أعداد متساوية تقريبًا من الأقزام البنية والأقزام البيضاء وعدد ضئيل من النجوم النيوترونية والثقوب السوداء لا يشكل سوى أعشار قليلة من الواحد بالمائة.[٢]

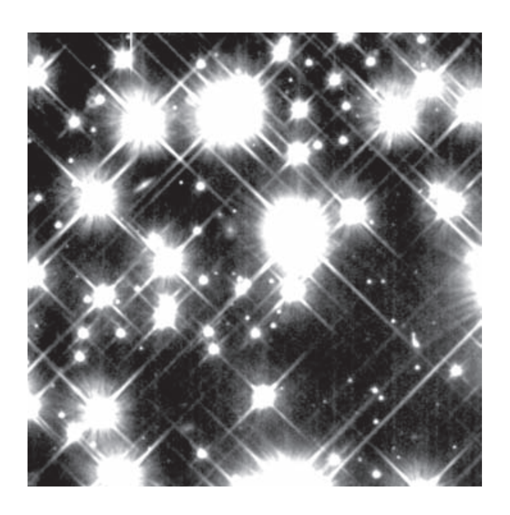
بقايا النجوم الضخمة مظلمة. لا شيء يفر من أفق حدث الثقوب السوداء، والنجم النيوتروني يماثل نواة ذرية تحوي ما يعادل $١٠^{٥٧}$ جسيم، وتتكدس نيوتروناته فيه

بإحكام مثلما يوضع البيض في صندوق. تحوي نسبة صغيرة من النجوم النيوترونية بقعًا ساخنة على أسطحها تولد حزمًا من الأشعة الكهرومغناطيسية. تدور النجوم حول نفسها، وحين يمر الشعاع المنبعث منها بمسار الأرض نرى نجمًا نابضًا. ولأنه ليس معلومًا بالضبط كيف تولد صور انعدام التناسق في قشرة النجم النيوتروني موجات الأشعة الكهرومغناطيسية، لا نستطيع التنبؤ بالوقت الذي ستعيشه النجوم النابضة.

كانت نصف الجثث في وقت من الأوقات نجومًا ضخمة بما يكفي لدمج الهيدروجين إلى الهيليوم، كالشمس. تعاني هذه النجوم سلسلة من التشنجات والانقباضات، وتنهي حياتها كأقزام بيضاء. والأقزام البيضاء هي جمرات نجمية لكن مادتها الغنية بالكربون أكثر كثافة بكثير من الرماد؛ فهي بلورية تشبه شكلًا غريبًا من الماس. في البداية تكون الجمرات شديدة السخونة لكنها تبرد بسرعة. يحتاج القزم الأبيض إلى ١٠٠ مليون عام فحسب كي يبرد من درجة حرارة ١٠٠ ألف درجة مئوية (١٨٠ ألف درجة فهرنهايت) إلى ٢٠ ألف درجة مئوية (٣٦ ألف درجة فهرنهايت)، لكنه بعد ذلك يستغرق ٨٠٠ مليون عام لكي يبرد إلى ١٠ آلاف درجة مئوية (١٨ ألف درجة فهرنهايت). بعد ذلك يستغرق ٥ مليارات عام كي يصل إلى درجة حرارة سطح الشمس التي تبلغ ٥٥٠٠ درجة مئوية (٩٩٠٠ درجة فهرنهايت). بعد ذلك يبهت القزم الأبيض باستمرار ويتدرج طيفه الضوئي من الأصفر إلى البرتقالي ثم إلى الوردي، ليصطبغ في النهاية بلون أحمر داكن باهت. بعد تريليونات الأعوام يصير غير مرئي، ولا يتوهج إلا بأطوال موجية غير مرئية من الأشعة تحت الحمراء (الشكل ١٠-١).

لا تمر الجثث الأخرى بطور من السخونة أبدًا، فسحب الغاز التي تنهار لتشكل أجرامًا تقل في كتلتها عن عُشر كتلة الشمس لا يمكنها أن تضيء عتمة الليل. لا تستشعر هذه النجوم عظمة تحول العناصر أبدًا، فهذه النجوم غير المكتملة تبعث ضوءًا باهتًا غير مميز يميل إلى اللون الأحمر؛ من ثم أطلق عليها اسم «الأقزام البنية». والأقزام البنية هي شكل أكبر حجمًا من الكواكب العملاقة، والكواكب العملاقة كالمشتري وزحل تتوهج هي الأخرى بالأشعة تحت الحمراء على نحو باهت. ومع مرور الدهور، سوف تلفظ الأقزام البنية حرارتها الفاترة في الفراغ البارد للفضاء، وسوف تتلاشى ببطء لتتحول إلى اللون الأسود (الشكل ١٠-٢).

حتى مع تقدم النجوم في العمر وتناقص ضوئها تظل الجاذبية هي محرك نشاطها. حين كانت النجوم صغيرة كانت الجاذبية أشبه بالكيميائي المتحمس المنهمك في تشكيل

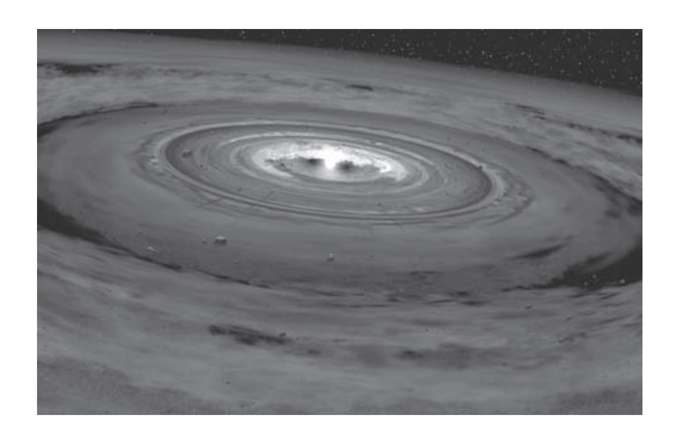


شكل ١٠-١: الأقزام البيضاء كما تظهر في صورة التقطتها «كاميرا الكواكب واسعة المجال» الموضوعة على «تليسكوب هابل الفضائي». أعتم النجوم في أي عنقود تكون أقل ١٠ مرات في كتلتها من الشمس، وأعتم من الشمس بمئات المرات. وفي ظل عدم وجود مصدر للطاقة، تجاهد هذه النجوم للبقاء كجمرات باهتة اللون، على نحو مشابه لما جاء في أغنية «الماس المجنون» لفرقة بينك فلويد. (NASA/Jet Propulsion Laboratory)

العناصر وملء بيانات الجدول الدوري والعمل على توهج السماء بالنفايات المعقدة، أما حين تتقدم النجوم في العمر فالجاذبية تتحول إلى ملزمة تضغط الغاز برفق، وتحتال على العيش بقذف الطاقة في الفضاء. لا تزال مجرة درب التبانة خشبة مسرح مهيبة، لكن لم تعد تشهد مولد النجوم، والنجوم الباقية ضعيفة خاملة.

(١-٣) التحلل والموت

للانتقال إلى ما وراء العصور المظلمة، سيرشدنا في هذه الجولة فريد آدامز؛ أستاذ الفيزياء بجامعة ميشيجن ذو الحضور الدافئ الودود والشعر الطويل. يوضح آدامز أن مجرة درب التبانة لن تصبح أبدًا معتمة تمامًا لأن الجاذبية لا تزال تقوم بعملها. كتب آدامز



شكل ١٠-٢: الأقزام البنية هي نجوم «غير مكتملة»، وكما يظهر في هذا التصور الفني، يُعتقد أنها محاطة بقرص من الغاز والغبار يتلاشى مع الوقت. تشع الأقزام البنية الحرارة، لكن درجات حرارتها ليست مرتفعة أبدًا بما يكفي لحدوث تفاعلات الاندماج النووي. (NASA/Space Telescope Science Institute)

عدة مقالات فنية عن تشكل النجوم وعلم الكونيات. وبمشاركة زميله جريج لافلين، ألف كتابًا شهيرًا بعنوان «العصور الخمسة للكون» عن فيزياء الخلود.

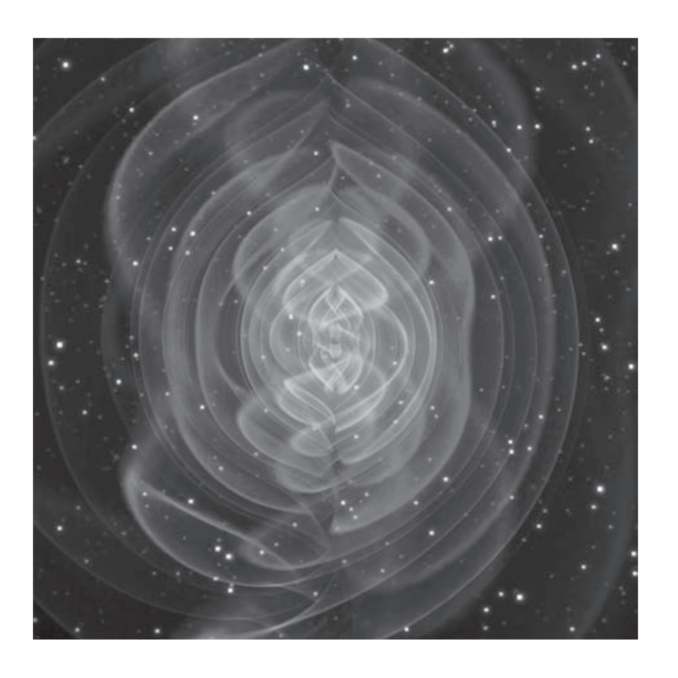
يبدأ فريد حديثه بتحذير؛ فمع تدرج المقاييس الزمنية المذهل إلى ما لا يمكن تصوره، تعتمد التنبؤات بصورة متزايدة على خصائص فيزيائية لم يَجْرِ اختبارها على نحو كافٍ. علاوةً على ذلك، تعتمد التنبؤات على الافتراض بأن قوانين الفيزياء لا تتغير بمرور الزمن. إن الكون الذي تتباين فيه قيم الجاذبية والشحنة الكهربائية وسرعة الضوء، لكن تتطابق نسبها اللابعدية، سيبدو مماثلًا للكون الذي تكون فيه تلك العوامل ثابتة؛ لذا على المجرِّبين أن يبحثوا عن تغييرات في العدد اللابعدي الأكثر جوهرية في الطبيعة، وهو ما يعرف بثابت البناء الدقيق. لهذا الثابت قيمة حالية تقترب من ١ / ١٣٧، وكان ثمة ادعاءات بأن ثابت البناء الدقيق يتغير بمرور الوقت، لكن القياسات صعبة للغاية، وصار هذا الموضوع بمنزلة مقبرة تُطمر فيها سمعة المجربين. سنفترض وحسب أن الطبيعة ثابتة.[٣]

لحسن الحظ لا تكون مجرة درب التبانة مظلمةً تمامًا، حتى في عهد الجثث النجمية. لا خلاف على أن النجوم الميتة ميتة بالفعل، لكننا أغفلنا حقيقة أن نصف النجوم تقع في نظم ثنائية. لو كانت في مدارات محكمة، يمكن أن تنتقل الكتلة من نجم لآخر، وتتسبب في اكتساب القزم البني لوزن يكفيه أن يدمج الهيدروجين. والمعادلة الحسابية هي: ميت + ميت = نابض بالحياة. وبهذا يوفر انتقال الكتلة والتصادمات العرضية بين الأقزام البنية طريقةً تمكِّن المجرة من الحفاظ على استمرار عملية تشكُّل النجوم مدة ١٠٠ تريليون عام من وقتنا الحالي. ستكون مجرة درب التبانة المستقبلية أقل حجمًا بكثير؛ فجيشها من النجوم المتوهجة البالغ عددها ٤٠٠ مليار نجم سيحل محله أقل من مائة نجم قزم يشتعل بدرجة حرارة أعلى من حد الهيدروجين مباشرةً.

ستتسبب اللقاءات النجمية في إضاءة السماء بالأضواء، وهذه الأضواء تستحق الاهتمام لأنها ستسطع في مثل هذا الظلام البارد اللانهائي. يمكن لزوج من الأقزام البيضاء أن يتصادما أو يندمجا ليشكلا مستعرًا أعظم إن زادت الكتلة المجتمعة عن الحد الأدنى للانفجار العنيف. والمعادلة الحسابية هذه المرة هي: جمرة + جمرة = ألعاب نارية. وحتى أندر الأحداث على غرار تصادم زوج من النجوم النيوترونية أو زوج من الثقوب السوداء (أو نجم نيوتروني وثقب أسود)، ستسبب انفجارًا كثيفًا من الإشعاع عالي الطاقة، وهو الوميض الذي يفوق في بريقه بريق بقية الكون فترة وجيزة. حين تندمج هذه الأجسام الكثيفة تشوه حيز الزمكان، وتحرر دفقًا من موجات الجاذبية (الشكل ١٠-٣).

الأزيز الأخير للاندماج النجمي هو استعراض جانبي على حلبة تهيمن عليها الجاذبية بالكامل. في عهد النجوم كانت الحياة تتصف بالإثارة بفضل المعركة الدائرة بين القوتين المتناحرتين؛ الإشعاع المنطلق من عملية تكوين العناصر في مقابل الجاذبية. وبعد ١٠٠ تريليون عام على الانفجار العظيم، ربما خسرت الجاذبية بعض المعارك، لكنها كسبت الحرب ولم يتبقَّ من مبارز لها سوى نفسها. ويبدو أن لعبة الجاذبية المنفردة هذه ممتعة إلى حد ما.[٤]

إن الطبيعة شديدة البخل، وتحب الحفاظ على الطاقة. هذا يؤدي إلى تأثيرين في معظم نظم الجاذبية. من ناحية، تميل المادة إلى التركز نحو المركز. وتسعى الجاذبية دومًا إلى إحداث انهيار، لكن للحفاظ على الزخم الزاوي تنطلق بعض العناصر بعيدًا عن المركز والبعض يغادر النظام تمامًا. هذا يفسر ما حدث مع المجموعة الشمسية؛



شكل ١٠-٣: محاكاة أجريت على جهاز كمبيوتر ضخم لإشعاع موجات الجاذبية مع وصوله لذروة كثافته أثناء اندماج ثقبين أسودين. يظهر الثقب الأسود المندمج كنقطة صغيرة في المركز. وتأمل الآلة التابعة لمرصد «ليجو» (المرصد المختص بكشف موجات الجاذبية عبر التداخل الليزري) أن تكتشف موجات الجاذبية من خلال التشويه الصغير الذي تحدثه في زوج من القضبان المعدنية طولهما ٥ كيلومترات معلَّقَيْن في الفراغ. (Chris Henze, NASA/Ames Research Center, Joan Centrella, NASA/Goddard Space Flight Center, and the NASA/Advanced Supercomputing Division)

حين انهارت سحابة غاز على نفسها وتركزت معظم الكتلة في جسم مركزي — الشمس — في حين تحول جزء صغير من الكتلة إلى مجموعة من الأجسام التي تقع عند الحد الخارجي؛ أي الكواكب.

تحدث العمليات نفسها على مستوى المجرات. لقد رأينا بالفعل كيف ستندمج مجرتا درب التبانة والمرأة المسلسلة لتشكلا مجرة بيضاوية، ذلك التشكيل الجديد للنجوم يتصف بأنه ذو كثافة مركزية أكبر؛ إذ تزيد كثافات النجوم في مركز مجرة

بيضاوية عنها في المركز الحالي للمجرة. يتصف هذا التشكيل أيضًا بأنه أكثر انتشارًا؛ إذ تتصف المجرات البيضاوية بأنها أكبر من المجرات الحلزونية. الآن تخيل أن هناك نجمين بالقرب من حافة إحدى المجرات، وهما مرتبطان معًا دون إحكام، حتى إنهما يملكان الطاقة الكافية تقريبًا لمغادرة المجرة. إن مر أحدهما بالقرب من الآخر فسيتبادلان طاقة الجاذبية. في المتوسط، سيفقد أحدهما الطاقة ويكتسبها الآخر. وسيتحرك النجم الفاقد للطاقة نحو المركز وسيُقذف بالنجم المكتسب للطاقة بعيدًا. يمكن بالفعل للمجرات أن تتبخر.

(٤-١) التبخر والتموجات

ابحث عن كتاب جيد واتخذ لنفسك مقعدًا؛ لأنه سينقضي وقت انتظار طويل حتى ترى مجرة درب التبانة وهي تتبخر، فلن يحدث هذا لمدة ١٠^١٩ عام أو ١٠ مليارات مليار عام. كي تعي هذا الرقم، دعنا نغير من حجم المقياس الزمني الذي استخدمناه لشرح نطاق الاندماج النجمي. إن اعتبرنا ١٠٠ تريليون عام عامًا واحدًا، فسنكون في أول ١٠ ساعات من ذلك العام، ولو افترضنا حدوث عهد التبخر والانهيار عند نهاية الحادي والثلاثين من ديسمبر، وسألنا عن موقعنا بعد مرور ١٣٫٧ مليار عام على الانفجار العظيم، فسيكون هذا بعد انقضاء ١ / ٣٠ من الثانية بعد منتصف ليل الأول من يناير؛ أي بداية العام.

لا تزال الجاذبية تملك سلاحًا سريًّا. إن منزلة الإشعاع التجاذبي للجاذبية هي منزلة الضوء للكهرومغناطيسية. حين تزداد سرعة جسيم مشحون فإنه يبعث إشعاعًا، يكون على صورة ضوء غالبًا. وحين تزداد سرعة أي جسم ضخم فإنه يبعث إشعاعًا تجاذبيًّا يطلق عليه غالبًا اسم موجات الجاذبية. لكن الجاذبية ضعيفة للغاية، حتى إن هذا الإشعاع يستحيل إدراكه في الحياة اليومية للنجوم والمجرات، إلا أنه يصير مهمًّا مع الجاذبية الشديدة للأجسام المنهارة، أو لو طال انتظارنا حتى نشهد التبخر.

نظرًا لأن انبعاث موجات الجاذبية يسبب فقد النظام الثنائي للطاقة، تتسبب هذه العملية في اقتراب النجوم الموجودة في مدار ثابت بعضها من بعض على نحو تدريجي، ثم اندماجها. موجات الجاذبية هي السبب وراء استمرار الأقزام البنية في النظم الثنائية في تزويد المجرة بعملية تشكل ضئيلة للنجوم بعد فترة طويلة من انتهاء عمليات الاندماج النووي في النجوم الفردية تمامًا. لم تُرصد موجات الجاذبية بصورة مباشرة بعد، لكن حين قاس راسل هالس وجوزيف تايلور من جامعة برنستون المدار المنهار لنجم نابض

في نظام ثنائي توافقت نتائجهما تمامًا مع التنبؤ بموجات الجاذبية حسبما جاء في نظرية النسبية العامة لأينشتاين، وقد فاز هالس وتايلور بجائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٩٣ عن عملهما. وسوف يتسبب التأثير نفسه أيضًا في التفاف النجوم في مجرة درب التبانة حلزونيًّا وببطء حول الثقب الأسود الضخم الموجود في المركز.

قد يربك استيعاب كل هذه الآليات المعقدة معظم علماء الفيزياء، لكن فريد آدامز يتصف برباطة الجأش. إنه ذو طابع حياة مخالف للمألوف، كالمتزلج على الأمواج، ويبدو وكأنه يتعامل مع مسألة الكون الجادة بهدوء بالغ، وهو يعرف كيف يقيِّم كل حيل الجاذبية، وإليك ما توصل إليه بشأن المصير طويل الأجل لمجرة درب التبانة.

سوف يسبب انبعاث موجات الجاذبية التفاف حوالي ١٠٪ من الجثث النجمية حلزونيًّا في مركز المجرة (وبالمثل، سيتسبب تسرب موجات الجاذبية في اندماج النظم الثنائية وسقوط الكواكب نحو نجومها الأصلية الميتة). سينمو الثقب الأسود المركزي — الذي لا يعادل حاليًّا في قوته سوى ٤ ملايين كتلة شمسية — ليصير وحشًا ضخمًا يعادل في قوته ١٠ مليارات كتلة شمسية. ستتفادى نسبة ٩٠٪ من النجوم البائدة براثن هذا الوحش لأنها ستُطرح بعيدًا عن المجرة. ستحاول المادة المظلمة أن تتشبث بتلك النجوم، لكن يمكنها فقط أن تبطئ من عملية التبخر، لا أن توقفها.

لا يحتوي الكون المستقبلي على شيء يماثل المجرة التي نراها كنظام من النجوم. ستتناثر النجوم في الامتداد الفسيح للفضاء، الذي يجري تنظيفه بين الفينة والفينة بواسطة ثقوب سوداء عملاقة شرهة. سيكون الليل مظلمًا على نحو شديد، ولا كلمة تعلو على كلمة الجاذبية.

ستحدث هاتان العمليتان المتلازمتان لنمو الثقب الأسود وتبخر النجوم وفق أكبر المقاييس الكونية. ومثلما اندمجت مجرتا درب التبانة والمرأة المسلسلة والتهمتا عددًا قليلًا من المجرات الأصغر حجمًا في المجموعة المحلية؛ ستندمج الثقوب السوداء المركزية للمجموعات والعناقيد المجرية، بل ستندمج العناقيد المجرية الفائقة في النهاية ليشكل كل هذا ثقوبًا سوداء تصل في كتلتها إلى تريليون كتلة الشمس، ويسيطر كل منها على مسافة تقدر بملايين السنوات الضوئية. يتسبب التجميع الهرمي في تراكم البنى على مقاييس أكبر. ولو عكسنا الترتيب الذي اقترحه جوناثان سويفت للبراغيث (التي يقطن على ظهر كل برغوث منها برغوث آخر أصغر)، فإن الثقوب السوداء دائمًا ما ستقع ضحية لثقوب سوداء أكبر تلتهمها.

هكذا تتلاشى مجرة درب التبانة من المشهد لتلاقي مصيرًا أفضل من النسيان، لكنها ستتجرد من حليها الساطعة؛ «ستتجرد من أسنانها، من عيونها، من حاسة التذوق لديها، ستتجرد من كل شيء».

(٢) نهاية الطفولة

(٢-١) التنبؤ بالمستقبل

«إياك أن تحاول التنبؤ، خصوصًا بالمستقبل.» هكذا قال رسام الكاريكاتير الدنماركي ستورم بيترسن، وهي مقولة تُنسب كثيرًا إلى يوجي بيرا أو نيلز بور. رأينا كيف أن السفر في الفضاء لا يزال في سنواته الأولى، وأن القيام بشيء بسيط مثل بناء قاعدة على كوكب المريخ قد يستهلك جزءًا كبيرًا من مواردنا العالمية. قد تكون تلك أول خطوة لنا كجنس يرتحل في الفضاء الخارجي. ما الذي قد يحمله المستقبل لحضارة «تصل إلى سن الرشد» في مجرة درب التبانة؟

قد نعلم في يوم من الأيام أن الحيتان القاتلة والدلافين تتصف بالذكاء مثلنا، وأن لها حياةً داخليةً عاطفيةً زاخرة، ولديها ثقافة منقولة ووعي بفنائها، لكن النتيجة الطبيعية لتكيفها الرائع مع البيئة البحرية هي استقرار تطورها تمامًا. في تلك الأثناء حوَّلت القردة مهارات التحكم لديها وبقاءها المتقلقل إلى مجموعة متصاعدة من صور البراعة الثقافية والتكنولوجية؛ النار والصخر والحديد والبرونز والمحاصيل والآلات وأجهزة الكمبيوتر الموجودة الآن. وكما هو معلوم للجميع، فمن الصعب التنبؤ بمسار أي ابتكار حديث.

فكر في المقولات التالية التي تتعلق بتكنولوجيا المعلومات التي جاءت على ألسنة أشخاص مطلعين في هذا المجال. في عام ١٩٤٣ علَّق توماس واطسون، رئيس شركة آي بي إم قائلًا: «أعتقد أن هناك سوقًا عالميةً لخمسة أجهزة كمبيوتر على الأرجح.» وبعد ست سنوات قدَّمت مجلة «بوبيولار ميكانيكس» المتحمسة هذا التكهن الجريء: «قد لا يزيد وزن أجهزة الكمبيوتر في المستقبل عن ١٫٥ طن.» وها هو مهندس عمل بقسم نظم الحاسب المتقدمة بشركة آي بي إم عام ١٩٦٨ يعلق على الشريحة الدقيقة قائلًا: «لكن … فيم تفيد؟» وأخيرًا استمع إلى مقولة على لسان بيل جيتس — رمز عصر المعلومات — وردت في محاضرة ألقاها عام ١٩٨١: «مَن الشخص العاقل الذي قد يحتاج لذاكرة قراءة عشوائية سعتها أكبر من ٦٤٠ كيلوبايت؟!»[٥]

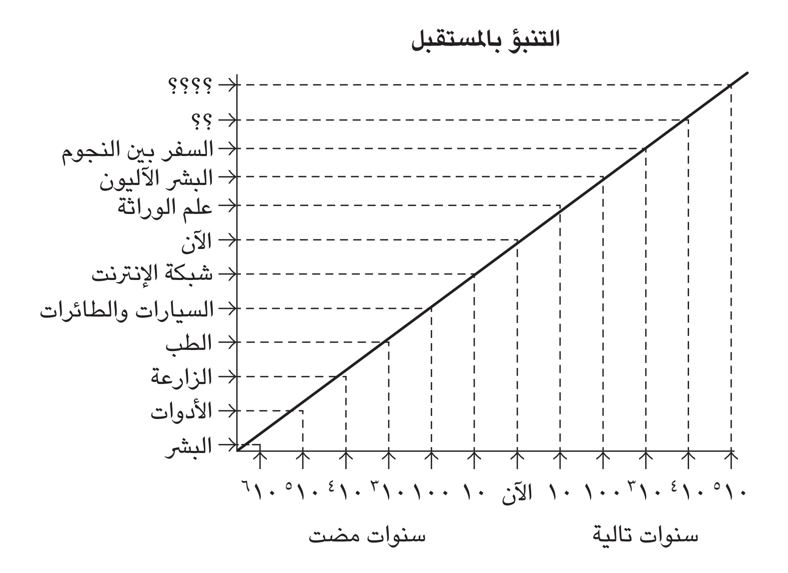
لمعرفة السبب وراء صعوبة التنبؤ بالمستقبل، علينا النظر إلى تاريخنا على امتداد فواصل زمنية لوغاريتمية ثم تطبيق ذلك على المستقبل. بالأرقام التقريبية، لم يكن هناك شبكة إنترنت منذ عقد مضى؛ إذ كان مفهومًا يتعذر تخيله لأي شخص عمره أقل من ٢٥ عامًا. ومنذ مائة عام لم يكن هناك نقل جماعي؛ إذ لم تكن هناك سيارات ولا حافلات ولا طائرات. كان الانتقال سيرًا على الأقدام أو بركوب الخيل صعبًا، ولم ينتقل معظم الناس إلى أبعد من المكان الذي ولدوا فيه، ومنذ ألف عام لم يكن هناك طب حديث، وكانت حياة معظم الأفراد قصيرة على نحو قاسٍ، وقصرت الأعمار بسبب أمراض كالسل والكوليرا اللذين لم يعد لهما سوى أثر ضئيل في عالمنا اليوم، ومنذ عشرة آلاف عام لم يكن هناك مدن، وعشنا كمجموعات صغيرة من البدو المتجولين، ومنذ مائة ألف عام كان الجنس البشري يخطو خطواته الأولى (الشكل ١٠-٤).

الآن لِنُدِر الساعة للأمام. نتصور أنه بعد عشر سنوات من الآن ستتطور الهندسة الوراثية إلى حد العلاج الجيني والسيطرة على الأمراض التي اعتادت القضاء على القسم الأعظم من الأرواح. بعد مائة عام من الآن قد نملك أجهزة كمبيوتر كمومية تتيح للأفراد أن يصلوا على الفور إلى أي معارف عن طريق شبكة إنترنت محيطة مدمجة فينا أو في كيانات هجينة من البشر والآليين. وبعد ألف عام من الآن ليس من المستبعد تصور سفرنا بين النجوم.

لكن ماذا بعد ذلك؟ هذا أمر من الصعب للغاية تقديره. إن عاش البشر ١٠ آلاف أو ١٠٠ ألف عام أخرى فمن المستحيل تقريبًا أن نخمن القدرات التي سنحظى بها. إن متوسط طول عمر إحدى سلالات الثدييات هو مليون عام؛ فهل سنكون قد أعفينا أنفسنا عندئذ من الانتخاب الطبيعي؟ نظريًّا، كان هناك نسخ مطابقة من الأرض في وقت مبكر للغاية في الكون، ومن الممكن أنه كانت هناك كائنات مماثلة للبشر لكنها سابقة علينا بنحو ١٠ مليارات عام. هل سيكون لديهم قدرات استثنائية أم سيصلون إلى ذروة التطور ويصلون إلى درجة الاستقرار، أم سيدمرون أنفسهم قبل ذلك؟

(٢-٢) البحث عن أماكن آمنة وإقامة المستعمرات

يندرج السفر بين النجوم ضمن رؤيتنا طويلة الأجل بشأن مصيرنا في الفضاء. والمجموعة الشمسية مجرد مكان للاختبار؛ فبمجرد أن تصير سياحة الفضاء في المدار القريب من الأرض أمرًا روتينيًّا، وأن نقيم مستعمرات على سطح القمر والمريخ، ستتحول أعيننا تلقائيًّا إلى أفق أبعد.



شكل ١٠-٤: بالنظر إلى الماضي عبر فواصل زمنية لوغاريتمية بحيث يكون كل فاصل زمني أكبر ١٠ مرات من السابق له سنصل سريعًا إلى حالة بدائية، وأي شخص ينتمي لذلك الوقت وينتقل إلى زماننا سيصاب بالرعب وعدم الفهم. وعلى نحو مماثل، يجعل التقدم الأسي للتكنولوجيا التنبؤ أسلوبًا لا يمكن الاعتماد عليه بدرجة كبيرة لأبعد من آلاف قليلة من السنوات في المستقبل. (Chris Impey)

في ضوء هذا العدد الوفير من الكواكب، يمكن العثور على كواكب أخرى مثل الأرض، بل ربما كواكب تماثل الجنان. كتب روبرت جودارد، رائد الصواريخ، اقتراحًا فنيًّا كاملًا لبناء سفينة نوح نجمية منذ قرن مضى، لكنه أبقى عليه حبيس أحد الأدراج لتجنب سخرية أقرانه. سرعان ما صارت مستعمرات الفضاء والسفن التي تنقل البشر بين النجوم مادة خصبة للخيال العلمي، وكثير من الأشخاص صاروا يألفون صور العيش في عوالم على شكل أسطوانات أو عجلات يوفر دورانها جاذبية اصطناعية. وقد زادت احتمالية بناء تلك العوالم في ضوء تقنيات الدفع الجديدة وتوافر المواد خفيفة الوزن، مما يؤدي إلى قدر من التفاؤل الواضح.

إليك ما قاله مايكل جريفين، المدير السابق لوكالة ناسا، عام ٢٠٠٥ عن البشر الذين سيعيشون خارج الأرض: «ليس الهدف هو مجرد الاستكشاف العلمي، فالأمر يتعلق أيضًا بتوسيع نطاق الموطن البشري من الأرض إلى المجموعة الشمسية مع تقدمنا في الزمن … لا أعلم متى يأتي هذا اليوم، لكن سيكون عدد البشر الذين يعيشون خارج الأرض أكبر ممن يعيشون على سطحها. قد يعيش أناس على القمر، وقد يعيش أناس على سطح أقمار المشتري والكواكب الأخرى. وقد يتخذ أناس من الكويكبات موطنًا. أعلم أن البشر سوف يستعمرون المجموعة الشمسية، وفي يوم من الأيام سيذهبون إلى ما وراءها.»

لا يشعر الجميع بمثل هذا التفاؤل. إليك ما قاله كاتب الخيال العلمي تشارلز ستروس عن الموضوع نفسه: «في ظل غياب التكنولوجيا الفائقة كالسحر — تكنولوجيا سحرية تفعل أشياء تبدو من منظورنا اليوم وكأنها تتلاعب بقوانين الفيزياء — سيكون سفر البشر بين النجوم فكرة مجهضة من بدايتها. ومع أنني لن أستبعد احتمال ظهور مثل هذه التكنولوجيا التي تبدو سحرية في المستقبل فإن النتيجة التي أتوصل إليها بوصفي «كاتبًا لقصص الخيال العلمي» هي أنه لو حدث الاستعمار ما بين النجوم فإنه «لن» يتبع نمط حملات الاستعمار التاريخية التي تبعها هجرة جماعية وتبادل التجارة بين المستعمرات والوطن القديم.»[٦] لاقى تشارلز توبيخًا من القراء؛ لأنهم اعتبروا أن واجب كاتب قصص الخيال العلمي هو أن يكون متفائلًا بشأن السفر إلى الفضاء أو إقامة المستعمرات فيه. مَن المحق، البيروقراطي المتحمس أم صاحب الرؤية المستقبلية ذو النظرة المتشائمة؟

إحدى المخاطر الكبرى التي تواجه المستعمرين الفضائيين ليست التصادم مع غبار الفضاء أو النيازك، وإنما ارتطامات الجسيمات دون الذرية التي يطلق عليها اسم الأشعة الكونية. وأعلى الأشعة الكونية طاقة هي البروتونات التي تسافر بسرعة أقل بقليل من سرعة الضوء؛ فلديها قدر كبير من الطاقة الحركية يماثل ما لكرة التنس التي تلقت ضربة قوية، لكن الجسيم هنا يكون أصغر حجمًا بما يعادل $١٠^{١٥}$ مرة. فقط المعجلات الكونية الطبيعية هي القادرة على تحريك البروتون بطاقة تفوق مليون مرة الطاقة التي وصل إليها مصادم الهادرونات الكبير. ويخمن علماء الفلك أن تعجيل هذه البروتونات تحدثه ثقوب سوداء فائقة عملاقة في المجرات النشطة، مثل النجوم الزائفة. والطاقة المرتبطة بالأشعة الكونية تباري كل الطاقة التي يحملها ضوء النجوم.

قد يكون تأثير الأشعة الكونية ذات الطاقة العالية للغاية على النسيج البشري عميقًا، فكر في كرة بيسبول سريعة تضربك، لكن لا تنتقل كل طاقتها إلى مضربك أو حتى مرفقك، وإنما إلى جزء صغير داخل عضو حيوي. على الأرض، نحن نحظى بحماية مضاعفة، فالكثير من هذه الأشعة يُحجب حين يقابل الغلاف الشمسي، وتتشكل فقاعة بالفضاء حين تصطدم الرياح الشمسية والمجال المغناطيسي بالغاز المنتشر في الفضاء النجمي. ويعترض المجال المغناطيسي للأرض الكثير من هذه الأشعة ويعيد توجيهها. وأخيرًا، يمنع الغلاف الجوي بقيتها من المرور لسطح الأرض. عند هذه الطاقات العالية، يمر شعاع كوني واحد عبر أي متر مربع من الفضاء كل عام، وهذا يتسبب في قدر كبير من الاصطدامات في رحلة طويلة بين النجوم. وستزيد سرعة مركبة المستعمرين الفضائية من الضرر.

ثمة مسألة فنية أخرى يجب التغلب عليها؛ الحياة المعلقة. فأقرب النجوم تبعد بمسافة تقدر بسنوات ضوئية، ولأن السفر بأي سرعة تزيد عن نسبة مئوية قليلة من سرعة الضوء هو أمر غير مرجح، فإن أي رحلة ذهاب فقط إلى أي مكان ممتع قد تستغرق عقودًا أو قرونًا. يستخدم القائمون على تجميد الجثث محلولًا مقاومًا للتجمد ويعملون على التبريد بواسطة النيتروجين السائل، لكن معدل البقاء غير معروف حاليًّا. استخدم الأطباء الجسورون انخفاض درجة حرارة الجسم والمحلول الملحي لإيداع الكلاب والخنازير في حالة أيضية تماثل الحياة المعلقة ثم إنعاشها بعد ساعات قليلة، وبلغ معدل النجاح ٩٠٪. وثمة طريقة أخرى أثبتت فعاليتها مع الفئران، وفيها يستبدل كبريتيد الهيدروجين بالأكسجين، ولا تتطلب التجميد. لكن العمل مع الحيوانات وتحقيق نجاح محدود بعد ساعات قليلة هو خطوة أولى مقارنة بتعليق حياة البشر ثم إعادتهم للحياة على نحو فعال موثوق به بعد مرور العديد من السنوات.

سيكون السفر إلى النجوم صعبًا على نحو يتعذر اجتنابه بسبب المسافات الشاسعة التي سيتعين قطعها. تبعد أقرب النجوم عن الأرض بمسافات أكبر بمئات الآلاف من المرات من المسافة بين الأرض والمريخ، وستكون أقرب كواكب مماثلة للأرض أبعد بمسافات تقدر بملايين المرات. وبافتراض توافر الحد الأدنى من دعم الحياة لكبسولة فضائية تزن طنًّا متريًّا واحدًا وتحمل راكبًا واحدًا وتتصف بالقدرة على مقاومة الأشعة الكونية، فإنها ستحتاج إلى ٢ × ١٠^١٩ جول من الطاقة كي تصل إلى كوكبة ألفا سنتوري وهي تسافر بسرعة قدرها ١٠٪ من سرعة الضوء بواسطة محرك يمكنه تحويل الطاقة

إلى قوة دافعة بكفاءة قدرها ١٠٪. إن مهمة إرسال مسافر واحد قد تستولي وحدها على استهلاك العالم أجمع من الطاقة طيلة شهرين.

الأمر صعب ومكلف. تبلغ «محطة الفضاء الدولية» من العمر ١٠ سنوات، ولم يكتمل منها سوى ثلاثة أرباعها، وستصل تكلفتها النهائية إلى ١٠٠ مليار دولار. وبإمكانها أن تحمل طاقمًا مكونًا من ستة أفراد، لكنها تحتاج لأن يعاد تزويدها بالطاقة باستمرار، فهي تماثل حجرة فندق مكتظة لا يتوافر فيها أي خدمة للغرف. وهي تدور في مدار منخفض حول الأرض؛ أي إنها لا تبعد سوى كيلومترات قليلة عن الأرض.

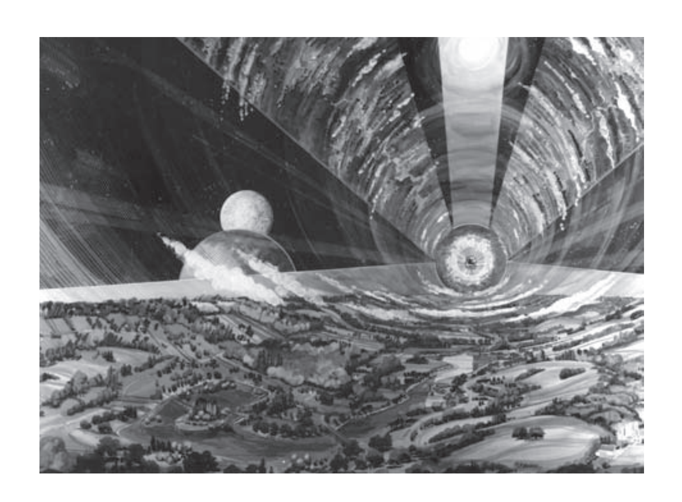
انسَ أمر «مركبات الفضاء» التي يعيش على متنها مستعمرون يلهون ويبتسمون وهم يقتربون من موطنهم الجديد. بمطالعة بعض تصميمات وكالة ناسا التي ترجع إلى سبعينيات القرن العشرين، قد تتساءل عما في جعبتها الترويجية (الشكل ١٠-٥). إن أوائل المسافرين إلى النجوم سيجري تثبيتهم في «توابيت» معدنية، مع خفض معدلات الأيض لديهم إلى مقدار ضئيل يقارب الموت، ثم يُدفع بهم إلى الفضاء البارد تمامًا عبر المجرة ويواجهون مستقبلًا غير معروف، ولن يقبل من المتقدمين سوى من يتصف بالشجاعة والجنون.

(٢-٣) إرسال الآليين

إن كانت حماية الضعف البدني والنفسي للأشخاص مهمةً صعبةً، فربما تملك الآلات مفتاح سيادتنا اللانهائية على المجرة، فبمساعدة الآلات يمكننا ركوب موجة التصغير التي تحشد قدرًا أكبر وأكبر من التعقيد في حزمة صغيرة كل عام. ليس تماديًا منا تمامًا أن نتخيل وجود حزمة في حجم كرة البيسبول تضم نظامًا للدفع وجهاز كمبيوتر قويًّا وكاميرا ذات خاصية استشعار عن بعد ونظام اتصال. قد تقل متطلباتها من الطاقة ١٠ آلاف مرة عن تلك التي يتطلبها تابوت الفضاء الذي ذكرناه للتو.

في ظل اقتصاديات الإنتاج الوفير، ربما نستطيع أن نتحمل تكلفة إرسال مئات الآلات التي تنتشر عبر المجرة بسرعة تبلغ عُشر سرعة الضوء، وتعيد إلينا وإلى سلالاتنا بياناتها من المجموعات الشمسية البعيدة. يمكننا أن نتغلب على الأوقات الطويلة المستغرقة في السفر بالأعداد الوفيرة، بحيث يمكن لمسبار فضائي واحد في المتوسط أن يمدنا برؤية لعوالم جديدة كل شهر. قد يكون ذلك العرض الأخير للواقع.

تصير الفكرة مقنعة أكثر لو استطاعت المسبارات الفضائية أن تجد كويكبات أو أقمارًا صغيرة ومواد تعدينيةً وتصنع نسخًا مطابقة من ذاتها. بعد ذلك لو أرسلنا



شكل ١٠-٥: بينما كانت وكالة ناسا تحت تأثير نشوة نجاح بعثات أبولو في سبعينيات القرن العشرين، كلفت الفنانين بوضع تصور لمستعمرات فضائية ذات جاذبية صناعية يمكنها أن تحمل ١٠ آلاف شخص يشعرون بالراحة التامة. هذا العمل الفني تذكرة ملائمة بمدى الصعوبة الحقيقية للسفر والعمل واللهو في بيئة الفضاء القاسية. (NASA/Ames Research Center)

اثني عشر مسبارًا، فكل واحد من هذا العدد سينشئ عددًا مماثلًا أكبر، وسيزداد أسطول المستكشفين بصورة أسية. بسرعة قدرها ١٠٪ من سرعة الضوء قد لا يستغرق استكشاف المجرة بأكملها سوى ملايين قليلة من السنوات. لقد «اختزلت» المشكلة إلى حد بناء مسبار فضائي لديه القدرة على استنساخ نفسه.

ليس ذلك بالأمر اليسير على الإطلاق. لقد بدأنا للتو في تطوير طابعات يمكنها أن تعد عددًا لا نهاية له من النسخ ثلاثية الأبعاد من الأجسام الصلبة المصنوعة من البلاستيك أو المعدن. وفي عام ٢٠٠٨ برمج آدريان باوير، مؤسس مشروع «ريبراب»، آلة لتنتج مجموعة كاملة من أجزاء آلة مطابقة لها، لكنها توقفت عند ذلك الحد؛ فلم تستطع تجميع تلك الآلة الثانية. يطلق إريك دريكسلر، المعني باستشراف المستقبل، على مثل تلك الآلات اسم «الآلات الناسخة الرنانة». وكتب عن أقصى درجات الحجم في الصغر؛ وهي تكنولوجيا النانو، أنه يعتقد أنها ستستخدم قريبًا لتكوين آلات صغيرة بوضع

الذرات المنفردة جنبًا إلى جنب. يا له من مسار طويل من مشروع «ريبراب» وصولًا إلى آلة يمكنها أن تنقب عن المواد الخام وتكررها ثم تستخدم تلك المواد في تشكيل مكونات ثم تعمل على تجميع تلك المكونات في صورة أجهزة استشعار أو أجهزة كمبيوتر أو نظم دفع أو كاميرات عاملة.

طُورت فكرة الآلات الناسخة الشاملة في خمسينيات القرن العشرين على يد رائد علم الكمبيوتر جون فون نيومان، ونتيجة لذلك كثيرًا ما يطلق على المسبارات الفضائية ذاتية النسخ اسم «آلات فون نيومان». لكن فون نيومان كان مهتمًّا بشيء أعمق؛ هو مجموعة التعليمات التي تصف جهازًا حاسوبيًّا عامًّا يمكن استخدامه في حساب أي شيء.[٧]

كم سيمر من الوقت قبل أن نبني مسبارات فضائية ذاتية النسخ؟ مئات بل ربما آلاف الأعوام. لقد اتخذنا أولى الخطوات بالفعل. وفي مجال تطوير الحياة الذكية ثمة زيادة تراكمية صغيرة، لذا لو أننا قريبون من تحقيق شيء ما، فبإمكاننا أن نتخيل أن شخصًا آخر قد حققه بالفعل. يعتقد عالم الفيزياء بول ديفيز أنه من المقنع إلى حد ما أن هذا قد حدث بالفعل، وعلق على ذلك قائلًا: «ستكون المسبارات الضئيلة الحجم التي أتحدث عنها غير واضحة للغاية، ولهذا قد لا نندهش من أننا لم نقابل أحدها. إنه ليس بالشيء الذي قد تقابله عرضًا في الفناء الخلفي لمنزلك. إذن، لو كانت تلك هي الطريقة التي تتطور بها التكنولوجيا — بحيث تصير أصغر حجمًا وأكبر سرعة وأقل تكلفة، ولو اتخذت الحضارات الأخرى هذا المسار — فمن الممكن أن نكون محاطين بالفعل بأجهزة مراقبة.»[٨]

يا لها من فكرة مروعة أن يكون هناك مسبارات ضئيلة الحجم تلاحظنا على نحو مستتر وترسل المعلومات مرة أخرى إلى الكوكب الأم، لكنها فكرة حميدة، ومع ذلك، يمكن بسهولة برمجة المسبارات ذاتية النسخ بحيث تزداد في الحجم والإمكانيات حتى تكون مهيمنة ومدمرة. كل ما سيتطلبه ذلك هو حدوث خطأ برمجي أو وجود نية شريرة. قد يكون الخطأ خطؤنا ويتعطل أحد الروبوتات المصممة لإعادة تأهيل المريخ ثم يتكاثر ويصطبغ بطابع تدميري، فحين تتجاوز الآلات حدود النسخ لتمتد إلى التطور ستكتسب صفات الحياة، وهذا التصور مألوف لكل من شاهد سلسلة أفلام «المدمر». لقد أعد فريد سابرهاجين أوبرا فضائية قائمة على فكرة «المحاربين الجامحين»، وهم روبوتات غريبة عازمة على السعي وراء كل أشكال الحياة العضوية وتدميرها. ربما من الأفضل أن نكون بمفردنا في الكون.

(٢-٤) الصمت العظيم

في عام ١٩٥٠، كان إنريكو فيرمي يتناول غداءه مع اثنين من زملائه بجامعة شيكاجو. فاز فيرمي لاحقًا بجائزة نوبل في الفيزياء عن عمله المرتبط بالانشطار، وقد عُرف باسم «البابا» كإشارة إلى عدم وقوعه في أي خطأ فيما يتعلق بأي شيء علمي. كان الثلاثة يمزحون بشأن تقارير الصحف عما شاهده سكان المنطقة من أجسام طائرة غير معروفة حين استغرق فيرمي في التفكير وقال: «أين هي؟»

كان فيرمي يعلم أن حجم الكون وعمره، وكذلك مبدأ عدم التميز، يؤيدان وجود العديد من صور الحياة القائمة خارج الأرض. وكان يعلم أيضًا أن التكنولوجيا البشرية ناشئة؛ لذا من المحتمل أن يكون هناك الكثير من الحضارات الغريبة التي يمكنها بسهولة أن تتواصل أو تنتقل عبر مسافات طويلة في المجرة. ومع ذلك، وبخلاف الروايات المتعلقة بمشاهدة الأجسام الطائرة غير المعروفة، ليس هناك علامة تدل على قدوم أي مخلوق غريب أو دليل على وجود رسائل أو بعثات لروبوتات من حضارات غريبة[٩] ومنذ عام ١٩٥٠ ازداد سؤاله أهمية يومًا بعد يوم، وطيلة ٥٠ عامًا عمل معهد «البحث عن كائنات ذكية خارج الأرض»، المعروف اختصارًا باسم «سيتي»، بدقة متزايدة وعلى نطاق أوسع، لكنه قوبل بما أطلق عليه الباحثون اسم «الصمت العظيم».

كيف ينبغي علينا أن نقطع الصمت العظيم؟ ثمة العديد من الإجابات المحتملة لهذا السؤال، وأيضًا إجابات عديدة متاحة للسؤال الذي طرحه فيرمي. من المحتمل أن يكون هناك ١٠٠ مليون عالَم أرضي صالح للحياة في مجرة درب التبانة، وهي أكبر عمرًا من الأرض بما يساوي ١٫٥ مليار عام في المتوسط. هناك الكثير من الوقت والأراضي المتاحة لتطوير حياة معقدة وذكية. وربما بدأت أولى التجارب البيولوجية في مجرتنا منذ ١٠ إلى ١١ مليار عام. لذا يعد عدم قدرتنا على ملاحظة أي أثر للحياة الذكية لغزًا يحتاج إلى حل.

إن معدلنا الأسي في التقدم التكنولوجي يعني أننا يجب أن نأخذ سؤال فيرمي على محمل الجد، وحتى لو كان مستوى تكنولوجيا المسبارات ذاتية النسخ إلى تكنولوجيتنا الحالية يماثل مستوى تكنولوجيتنا إلى تكنولوجيا مجتمعات الصيد والالتقاط البدائية، فسيتحقق هذا في المستقبل القريب الذي قد لا يبعد أكثر من عشرات الآلاف من الأعوام. إن التقدم التكنولوجي سريع للغاية مقارنة بالتقدم البيولوجي. ومسبارات كتلك يمكنها أن تنثر بذور الحياة على الكواكب الملائمة، في نسخة ميكانيكية من فكرة التبذر

الشامل، ويمكنها أن تعمل كحراس لتراقب نشوء الحياة الذكية، ويمكنها أن تنفذ مهام الاستكشاف بصورة أكثر فاعلية وأمانًا من الكائنات الذكية.

يمكن أيضًا لأسطول من المسبارات الروبوتية أن يعمل كنقاط تلاقٍ لشبكة من الاتصالات النجمية، فكر فيها على أنها «موسوعة حضارات المجرات». اتبع الزيادة الأسية في قوة أجهزة الكمبيوتر وسرعتها، التي يطلق عليها اسم «قانون مور»، وذلك مدة عقود قليلة أخرى وسوف نستطيع حينئذ أن نضع ١٠ تيرابايت على بطاقة ذاكرة دقيقة، تلك السعة تكفي لاحتواء تسجيل فيديو لحياة البشرية كاملة؛ بحيث يجري تسجيل كل ما تراه وتقوله وتسمعه وتمر به رقميًّا. تصوَّر التقدم الأسي في مجال الكمبيوتر طيلة ٥٠ عامًا أخرى وسيكون لدينا حينئذ القدرة على تخزين تسجيلات فيديو لقرن من حضارتنا كاملة — $١٠^{٢٣}$ بت — على كيلوجرام من السعة التخزينية على مستوى الذرات، التي على الأرجح ستعتمد على صف لذرات الكربون على شكل شبكي. فكر فيها على أنها رسالتنا الموضوعة في زجاجة، أو أنها رسالة أي شخص آخر.

كثيرًا ما تُحرف تفسيرات الصمت العظيم، فالكائنات والأجسام الغريبة ذات الحياة فائقة الذكاء خارج الأرض موجودة لكنها تتخذ خيارًا ثقافيًّا بعدم إجراء مهام الاستكشاف أو الاتصال. قد تكون موجودة لكنها تراقبنا ولا تكشف عن هويتها؛ فرضية «حديقة الحيوان». أو أنها تنتظر حتى ننضج بحيث إما أن تحيينا أو تدمرنا؛ فرضية «المحاربين الجامحين». أو أنها متقدمة للغاية حتى إننا لا نعلم كيف نتعرف عليها؛ فرضية «المبتدئين».

بالطبع ثمة تفسير أبسط للصمت العظيم؛ وهو أن تلك الكائنات والأجسام غير موجودة من الأساس. قد نكون فريدين في نوعنا أو نادرين للغاية كحضارة تكنولوجية. وقد يحمل احتمال واحد أو أكثر من الاحتمالات الواردة في معادلة دريك (التي جرت مناقشتها في نهاية الفصل الرابع) قيمًا أقل بكثير من القيم المتفائلة العامة التي افترضها علماء الفلك. إن تشكل الحياة من مكونات كيميائية بسيطة قد يكون حدثًا وقع بالصدفة. والانتقال من الحياة الميكروبية إلى مستوى التعقيد الذي تتصف به الحيوانات الكبيرة قد يكون نتيجة عارضة للغاية للتطور. وقد يكون «النضج» التكنولوجي عقبة بسبب عدم الاستقرار الذي يصاحب التمتع بقوة هائلة تفوق ما تتمتع به الطبيعة.

إن حقيقة أننا أول نوع يصل إلى الفضاء الخارجي في المجرة تتوافق مع كل شيء نعلمه. قد نكون النوع الأول والأخير والوحيد. ومعرفة أننا وحيدون قد يكون أمرًا مثيرًا

ومروعًا في الوقت نفسه. ونأمل أن ذلك قد يشجعنا على اجتياز مرحلة طفولتنا بنجاح حتى يمكننا أن نستمتع بالفضاء وسخاء الكون فيما وراء موطننا.

الفصل الحادي عشر

نهاية الكون

في البدء، لم يكن هناك أي شيء؛ بمعنى أنه لم تكن هناك أي مادة ملموسة، لكن كانت هناك إمكانية تكوُّن أي شيء، وكل شيء. تعبير «لا شيء» فيه تقليل كبير من شأن هذه الإمكانية الوافرة.

هو ليس مكانًا؛ لأنه لا يوجد أعلى أو أسفل، ولا داخل أو خارج. هو ليس زمانًا؛ لأنه لا يوجد بدايات أو نهايات. يعبر الفراغ جيدًا عن فكرة غياب الأشياء على نحو كافٍ، لكن الكلمة لا تعبر عن ثراء حالات الطاقة في موقف يعني فيه عدم اليقين الكمي أن القوانين يمكن خرقها، وحتى الخرق البسيط العابر قد تكون له نتائج مهولة.

في هذه الرغوة الكمومية المهتاجة، تتكون فقاعات الزمكان وتختفي. معظمها سريع الزوال، لكن القليل منها يستمد طاقة كافية من الفضاء ليتضخم ويستمر فترات طويلة. هذه الفقاعات متنوعة؛ فمنها التي تستمر جزءًا من الثانية، ومنها التي تستمر دهورًا طويلة، بعضها أملس وعديم الشكل وبعضها الآخر يتسم بالفوضى كما الثقوب السوداء، البعض يخضع لسيطرة الضوء والبعض الآخر يخضع لسيطرة المادة، البعض يحتوي على زمان والبعض الآخر عديم الزمان، البعض لا يتعدى مثقال ذرة والبعض الآخر غير متناهٍ في حجمه. هذا هو ما يُطلق عليه الكون المتعدد.

في أحد الأكوان التي تشكلت داخل فقاعات، تتسم الظروف بأنها «ملائمة بالضبط»، ومن ثم نبحر عبر قصة ذات طابع «ملائم بالضبط» يحكيها راوٍ ذو عينين وامضتين بالبريق وابتسامة تنم عن معرفته العميقة بها. في هذا الكون الفريد الذي لا تتسم الظروف فيه بالتطرف، يتسبب انحراف صغير في قوانين الطبيعة

في وجود مادة كافية لتشكيل ١٠ آلاف مليار مليار نجم، فضلًا عن الوقت الكافي لأن تُشكل تلك النجوم عناصر ثقيلة وتئوي داخلها أشكالًا معقدة، لكن هشة تنشأ حين تتحد تلك العناصر معًا. هل يتسم الكون الذي يحوي الوعي بالذات بأنه واعٍ؟

تعد الأشكال الهشة جزءًا من الكون، لكنها منفصلة عنه. هي تحمل قيمة ومعنى وغرضًا وهدفًا، هي تشعر بأنها عارضة وزائلة مثلها مثل الفقاعات التي تسببت في وجود كل ما يحيط بها.

إن الأمر لا يتعلق بها، ولم يتعلق بها قط. لقد تحول الكون من الحرارة عديمة الملامح التي لا يمكن تخيلها إلى التعقيد، وبعد مرور ما يكفي من الوقت، سيتحول إلى برودة عديمة الملامح لا يمكن تخيلها أيضًا. هذا زمانها، وهذا زماننا.

* * *

(١) نشأة الكون من العدم

(١-١) الكون المتمدد

ننتقل أخيرًا للحديث عن أكبر المسارح قاطبة. يُعرَّف الكون بأنه كل ما هو موجود، بما في ذلك المكان والزمان والمادة والطاقة والقوانين الفيزيائية التي تحكم سلوك كل هذه العناصر. وربما يعد التوصل إلى نظرية تنبئية تفصيلية عن الكون أعظم تحدٍّ فكري يواجهه بنو البشر على الإطلاق.

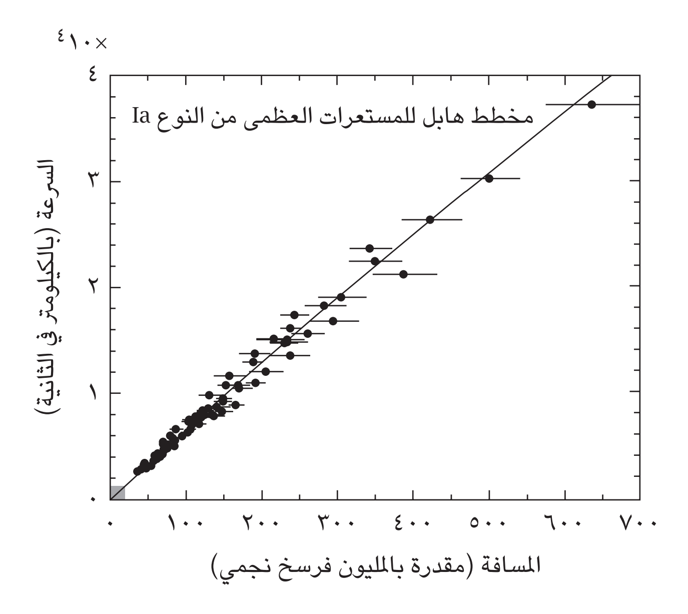
منذ مائة عام، ذهبت وجهة النظر التقليدية إلى أن مجرة درب التبانة كانت هي الكون، لكن لم تكن تقديرات حجمها موثوقًا بها بسبب الغبار المعتم المتناثر بين النجوم، لذا تراوحت التقديرات بين ١٠ آلاف إلى ١٠٠ ألف سنة ضوئية. وفي الخرائط النجمية، أعد ويليام هيرشل دليلًا لمئات الأجسام الضبابية المسماة بالسدم، وأصبحت هذه الأجسام مثارًا للجدل. ظن معظم علماء الفلك أنها مناطق قريبة لتشكل النجوم في مجرة درب التبانة، لكن آخرين أحيوا فكرة متطرفة نادى بها الفيلسوف الألماني إيمانويل كانط ذهبت إلى أن السدم هي نظم نجمية بعيدة مثل مجرة درب التبانة، أو «جُزر كونية»، كانت نجومها الفردية باهتة للغاية أو شديدة القرب بعضها من بعض لدرجة يصعب معها رؤيتها بواسطة التليسكوب.

جاء حل هذه القضية على يد إدوين هابل، الشاب الذي يتسم بالثقة الشديدة بالنفس، تلك الثقة التي تتوقعها من أي شاب حصل على منحة روديس التعليمية، فضلًا عن أنه كان ملاكمًا ورياضيًّا وعمل أيضًا بالمحاماة قبل أن ينتقل إلى دراسة علم الفلك. في عشرينيات القرن العشرين، وفي مرصد جبل ويلسون بالقرب من لوس أنجلوس، استخدم هابل التليسكوب الذي شيد حديثًا، الذي يبلغ عرض مرآته ٢٫٥ متر، لإثبات أن النجوم المتغيرة خافتة الإضاءة في مجرة المرأة المسلسلة تنتهج على نحو مطابق تمامًا السلوك نفسه الذي تنتهجه النجوم المتغيرة المماثلة في مجرة درب التبانة. وقد أنبأه السطوع النسبي للنجوم المتغيرة في كل من مجرتي المرأة المسلسلة ودرب التبانة بأن مجرة المرأة المسلسلة تبعد مسافة قدرها مليون سنة ضوئية؛ أي تقع بعيدًا للغاية عن حافة مجرتنا. وسرعان ما رصد هابل العديد من المجرات وصل عددها إلى اثنتي عشرة مجرة، ولاحظ أن أبعدها عن مجرتنا كانت تقع على بعد ٤٠ أو ٥٠ مليون سنة ضوئية.

لم تتوقف جهود هابل عند هذا الحد فحسب،[١] فباستخدام أطياف هذه المجرات، أثبت هابل أن سمات هذه الأطياف تنجرف إلى اللون الأحمر بمقدار متناسب مع المسافة التي تبتعد بها عن مجرتنا. يطلق على هذه العلاقة الخطية بين المسافة وسرعة الابتعاد عن مجرتنا اسم «قانون هابل»، وأبسط تفسير لهذا القانون يتمثل في أن الكون يتمدد، فكل مجرة نظام نجمي شاسع يتألف من مليارات النجوم، وهذه المجرات تبعد عنا ملايين الأميال كل ساعة، وأبعد المجرات عن مجرتنا هي أسرعها ابتعادًا عنها. وهكذا أوضحت اكتشافات هابل أننا نعيش في كون شاسع مفعم بالحراك (الشكل ١١-١).

هذه المعلومات الجديدة تثير العديد من الأسئلة، ولم يحاول هابل الذي ركز تفكيره على الرصد الإجابة عنها. ما الذي يتمدد؟ وما سبب تمدده؟ ما الذي سيئول إليه تمدده؟ ولو أن كل شيء يبتعد عنا، ألا يضعنا ذلك مرة أخرى في مركز الكون مما يفسد فكرة كوبرنيكوس العظيمة؟

قدم ألبرت أينشتاين الأساس النظري لتفسير البيانات التي توصل إليها هابل، وذلك قبل عقد من ذلك الوقت. تعد نظرية النسبية العامة هي أشهر نظرياته عن الجاذبية، لكن الأساس المفاهيمي الذي تقوم عليه يختلف تمامًا عن مفهوم إسحاق نيوتن الخطي للزمان والمكان. في نظرية أينشتاين، يقترن الزمان بالمكان، وهناك علاقة رياضية تربط بين انحناء الزمكان وقدر الطاقة والكتلة. ينطبق ذلك على المقاييس الصغيرة كالثقوب السوداء وعلى المقاييس الأكبر كالكون. وتتسم العمليات الرياضية المبنية عليها نظرية



شكل ١١-١: ثمة علاقة خطية بين معدل التمدد الكوني (المقدر هنا بالكيلومتر في الثانية) والمسافة (المقدرة بالمليون فرسخ نجمي، حيث يعادل الفرسخ النجمي ٣ سنوات ضوئية) بالنسبة لجميع المجرات؛ مما يعني أن المجرات البعيدة تبتعد عنا بسرعة أكبر. يوضح التمدد الخطي أن المجرات جميعها كانت متلاصقة في وقت ما من الماضي. نطاق القياسات الأصلية لهابل معروض هنا من خلال المربع الصغير المظلل الموجود في ركن الرسم البياني. (Robert Kirshner, Harvard University, and the Proceedings of the National Academies of Sciences)

النسبية العامة بأنها غاية في الصعوبة لكنها متميزة وممتعة لممارسيها. مع ذلك، فهي تتنبأ بظواهر قد ترهق الخيال والبديهة.

أسهل سؤال يحتاج إلى الإجابة عنه يتعلق بالتخوف من الشوفينية، فلو أن المجرات جميعها تبدو وكأنها تتحرك مبتعدة عنا، فلا بد أننا في مركز هذا التمدد، لكن ليس ذلك صائبًا، فالمسألة تتعلق بالمنظور. تخيل أن علماء فلك موجودون على مجرة ما تبعد عن مجرتنا بمليون سنة ضوئية، وأنهم يرصدون مجرة درب التبانة والمجرات الأخرى.

قد يرون مجرة درب التبانة تتحرك بعيدًا عنهم بالسرعة نفسها التي نراهم يتحركون بها بعيدًا عن مجرتنا، وقد يرون مجرات في جميع الاتجاهات تبتعد بسرعات تتزايد مع المسافة، ويضعون لها قانون هابل (سيكون لديهم عالم فلك شهير توصل إلى ذلك الاكتشاف ومن ثم سيسمون القانون باسم شخص آخر). يرصد المراقبون على أي مجرة الابتعاد نفسه للمجرات الأخرى. من المحال أن تكون كل هذه المجرات موجودة في مركز الكون؛ في حقيقة الأمر، ليس أيٌّ منها موجودًا في مركز الكون.[٢]

قد لا تكون إجابات الأسئلة الأخرى مُرضية بصورة كافية لأنها تتطرق إلى الجوانب الغريبة لنظرية النسبية العامة، فالمجرات ليست كالشظايا التي تتناثر عقب حدوث انفجار ما، لكنها تتحرك بعيدًا عنا بسبب تمدد الزمكان. إن الزمكان مفهوم لا يمكن وصفه إلا من خلال علم الرياضيات، ولا يعني تمدد الزمكان أنه يتمدد بالضرورة «داخل» أي شيء، ومن ثم فإن الكون مُحْتَوٍ لذاته وليس بحاجة إلى أي حاوية خارجية. وفيما يتعلق بالسبب، فإننا نتعلم الكثير من الأمور عندما نرجع بعقارب الساعة ونتتبع ظاهرة التمدد رجوعًا إلى وقت كان فيه الكون مختلفًا تمام الاختلاف عن الحاضر.

(١-٢) يوم بلا أمس

لو أن المجرات يبتعد بعضها عن بعض كل يوم، يمكن تتبع التمدد الخطي رجوعًا في الزمن إلى الوراء حتى زمن افتراضي كانت فيه كل الأشياء موجودة بعضها فوق بعض، هذا الزمن هو عمر الكون. والتجسيد الخطي لقانون هابل مع الرجوع في الزمن إلى الوراء يغالي في تقدير هذا العمر؛ لأن الجاذبية تعمل على مقاومة التمدد، ومن ثمَّ فإن معدل التمدد كان أسرع في الماضي.

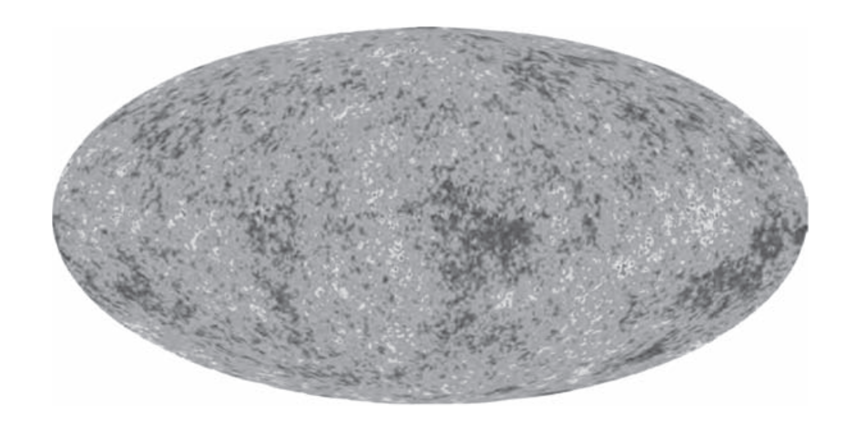
وفقًا لقانون هابل، لم يكن الكون دومًا فارغًا وكبير الحجم كما نراه اليوم، ففي يوم ما كان الكون أصغر حجمًا وأكثر كثافةً — مثل أي غاز عند ضغطه — فضلًا عن أنه كان أشد حرارة. بحلول أربعينيات القرن العشرين، خمن علماء الفيزياء أن الحالة الأولية للكون كانت تتسم بكثافة ودرجة حرارة لانهائية؛ إذ كان الكون نقطة ضئيلة من الزمكان شديد الانحناء ذات كتلة وطاقة مضغوطتين. أطلق عليه جورج لوميتر، المنظر البلجيكي والكاهن القبطي، اسم «يوم بلا أمس»، وقدَّر اللاجئ الروسي جورج جاموف أنه يتعين وجود توهج باهت متخلف عن نشأة الكون وموجود في جميع أنحاء الفضاء. لم يتبقَّ سوى وضع اسم جذاب للنظرية، وقد اختاره بالفعل عالم الكونيات فريد هويل

الذي فضَّل تبني نظرية منافسة؛ لقد أطلق على النظرية اسم «الانفجار العظيم» محاولًا بذلك التقليل من شأن تلك النظرية، لكن ذلك عاد بنتيجة عكسية؛ لأن التسمية التي أطلقها علقت بالأذهان.

يعتمد نموذج «الانفجار العظيم» على ثلاثة أدلة راسخة: يتمثل الدليل الأول في تمدد الكون الذي عبَّر عنه هابل، والذي تأكد حديثًا أنه تمدد خطي يمتد على مسافة تفوق المليار سنة ضوئية. أما الدليل الثاني، فيتمثل في إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، وهو الآثار الباقية الفاترة المتخلفة عن الانفجار العظيم الذي تنبأ به جاموف. اكْتُشِفَ هذا الإشعاع من قبيل الصدفة في مختبرات بِيل عام ١٩٦٥ وهو يرد بكثافة متساوية تقريبًا من جميع الاتجاهات في السماء بدرجة حرارة تبلغ ٢٫٧٣ درجة أعلى من الصفر المطلق على مقياس كلفن لدرجات الحرارة (–٤٥٤ فهرنهايت). يتمثل الدليل الثالث في وجود العناصر الخفيفة بكثرة في الكون؛ إذ يشكل الهيليوم حوالي ربع كتلة الكون، وهي كمية كبيرة للغاية يصعب أن تكون قد نشأت فقط عن طريق النجوم، لكن الكمية الصحيحة يفسرها الانفجار العظيم؛ إذ يوضح أن الهيليوم تكوَّن عندما كان عمر الكون دقائق قليلة، وعندما كانت حرارته مرتفعة للغاية كحرارة مركز نجم كالشمس.[٣]

ساعدت الملاحظات الحديثة على دعم نظرية الانفجار العظيم ودفع آفاق معرفتنا لندرك عن كثب تفرد مولد الكون. لا يقدم النموذج القياسي لنظرية الانفجار العظيم تفسيرًا لسلاسة واستواء الكون، لذا تم التوسع في الفكرة لتتضمن تعرض الكون لتمدد أسي سريع للغاية بعد أن مر على نشأته قدر قليل للغاية من الوقت يستحيل تخيله يبلغ $١٠^{٣٥}$ ثانية. وقد لاقى نموذج الانفجار العظيم التضخمي بعض الدعم بفضل العلامات المميزة الدقيقة الواردة من إشعاع الخلفية الميكروني الكوني كما رصدها «مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية» (الشكل ١١-٢).

ونحن نتتبع الانفجار العظيم حتى نشأته، نصل إلى أقصى حدود معرفة نظريات المادة. لقد اخْتُبِرَت المبادئ الفيزيائية لنظرية الانفجار العظيم جيدًا حتى عمر مايكروثانية للكون، حين أدى عدم تناظر القوى إلى تفوق المادة على المادة المضادة. قبل كل ذلك، لا يمكن لأي معالج جسيمات على الأرض أن يحاكي ما حدث عند الانفجار العظيم. كانت قوى الطبيعة الأربع مندمجة بعضها مع بعض في قوة واحدة عظمى. إن النظريات الحالية غير كافية لفهم أصل هذا الانفجار؛ لأنها لا تتمكن من توحيد قوة الجاذبية واسعة النطاق مع القوى الأخرى صغيرة النطاق التي تتحكم في السلوك الكمومي.



شكل ١١-٢: صورة للسماء التقطها «مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية» الذي أطلقته وكالة ناسا الفضائية. يبلغ إجمالي درجة حرارة الإشعاع ٢٫٧ درجة كلفنية (–٤٥٤ فهرنهايت) والتغيرات الطفيفة هي تفاوتات كمومية تعود إلى أول كسر بسيط من الثانية عقب وقوع الانفجار العظيم. هذا الإشعاع يؤكد نشأة الفضاء من الانفجار العظيم مرتفع الحرارة. (NASA/Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Science Team)

ثمة رمز شهير لثعبان يلتهم ذيله، يعرف باسم الأوروبوروس، وهو من أقدم الرموز في الثقافة الإنسانية. يعد الأوروبوروس تشبيهًا مثاليًّا للقوى شديدة الكِبَر والقوى شديدة الصغر التي ينبئنا بها الانفجار العظيم. ويحافظ البشر على مكانهم في نقطة وسطى بين هذه النطاقات المتباينة. ونحن هنا نسعى في جرأة لتأمل أقصى طرفي الوجود.

يتسم نموذج الانفجار العظيم بالجرأة، ومن المدهش أن نرى أن علماء الفلك يمكنهم إخفاء ابتساماتهم المتكلفة عند وصفهم إياه. يقضي نموذج الانفجار العظيم بأن هذا الكون الشاسع شبه الفارغ نشأ من نقطة متناهية الصغر للزمكان ذات كثافة وحرارة لا نهائية.[٤] يذهب هذا النموذج إلى أن بذور تشكل المجرة جاءت نتيجة التفاوتات الكمومية التي تسبب التضخم في وصولها للمستوى الميكروسكوبي. ويذهب إلى أن الطاقة اللازمة للتمدد قد تكون مستمدة كتفاعل كمومي من طاقة الفراغ. وعليه، فإن الجسيمات البالغ عددها $١٠^{٨٠}$ جسيم والفوتونات البالغ عددها $١٠^{٨٩}$ فوتون قد نشأت أساسًا من العدم.

(١-٣) فراغ شاسع وقديم الأزل

مر قرن من التقدم المبهر منذ أن عرَّفنا هابل على الكون البالغ من العمر حوالي ١٣٫٧ مليار عام، وهو يتكون في معظمه من فضاء شاسع يحتوي على قرابة ٥٠ مليار مجرة. لقد اتسع الكون المحدود القديم — الذي امتد لمساحة مليون ميل فحسب وفقًا للنظرة الإغريقية القديمة — ليصل إلى حجم يستحيل تخيله.

حدد النموذج الشمسي المركزي أن النجوم الثابتة تبعد عنا بمسافة مليار ميل. وفي القرن التاسع عشر، قاس علماء الفلك المسافة الممتدة إلى النجوم لأول مرة ووجدوا أن الكون صار أكبر حجمًا بمقدار ١٠٠ ألف مرة؛ أي ما يُقدر بمئات السنوات الضوئية أو ١٠^{١٤} كيلومتر. ثم ضاعف المخطط الذي أعده هيرشل لمجرة درب التبانة هذه القيمة بألف ضعف، بحيث وصل حجم الكون إلى ١٠٠ ألف سنة ضوئية أو ١٠^{١٧} كيلومتر. وعندما انتهى هابل من حساباته، زاد اتساع الكون — بالمعنى الحرفي والمجازي — إلى ١٠٠ مليون سنة ضوئية أو ١٠^{٢٠} كيلومتر. منذ ذلك الحين، ومع ظهور تليسكوبات أكبر حجمًا على نحو متعاقب، تضاعف حجم الكون وفق تقديرنا بمائة ضعف. وسواء أكنت تفضل الأميال أم الكيلومترات، فإن الرقم ١٠^{٢٢} قيمة كبيرة للغاية.

يمكن تقريب هذا الرقم لمخيلتنا من خلال نموذجين للحجم؛ فإذا قلصت الكون بمعامل قيمته ٣٠٠ مليون، فسيقل حجم الأرض لتصير بحجم كرة الجولف؛ بحيث تستطيع حملها بسهولة في يدك. وبالمثل، تصير الشمس كرة متوهجة قطرها ٣ أمتار تبعد عن الأرض بمسافة ٤٠٠ متر، وتصير المجموعة الشمسية بحجم مدينة صغيرة. لكن أقرب نجم في هذا النموذج سيبعد عنا بمسافة تبلغ ٣٥ ألف كيلومتر (٢٠ ألف ميل) ومن ثمَّ، لا يزال الكون خارج نطاق الرؤية. الآن قلص الكون بمعامل ثانٍ قيمته ٣٠٠ مليون، وستتقلص أحجام النجوم إلى المستوى الميكروسكوبي وتصبح المسافة النموذجية بين النظم النجمية ٣ ملليمترات. ستصير مجرة درب التبانة مجرة حلزونية ملتفة حول نفسها تمتد لحوالي ٣٠٠ متر وتبعد أقرب المجرات التي يمكن مقارنتها بمجرتنا بحوالي كيلومتر واحد. وحتى مع تقليل حجم الكون بمعامل قيمته ١٠^{١٧} ستبعد عنا أبعد المجرات بمسافة تبلغ ٤٥ ألف كيلومتر (٣٠ ألف ميل).

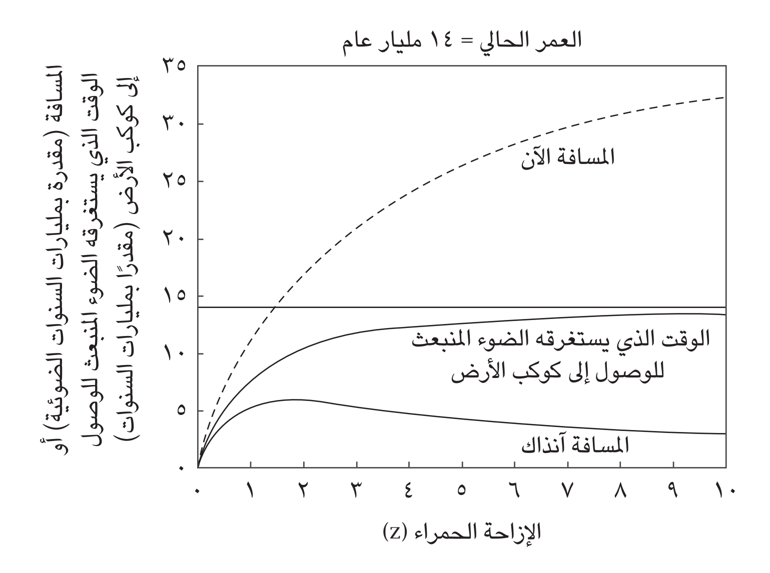
يبدأ استيعاب حجم الكون بمشكلة مفاهيمية كانت معروفة جيدًا في عهد الإغريق وهي: لو افترضنا أن للكون حافة وحجمًا متناهيًا، فماذا يوجد وراء هذه الحافة؟ ولو افترضنا أنه ليس هناك حافة للكون، فكيف يتأتى لنا تخيل شيء غير متناهي الحجم؟

هناك أيضًا المشكلة العملية المتمثلة في قياس الفضاء الذي لا يمكن رؤيته، فنحن نرى أجرامًا موجودةً في الفضاء، لكن الأجرام البعيدة خافتة للغاية، وقد تقع خارج نطاق قدرة تليسكوباتنا.

تزداد القياسات تعقيدًا بسبب التمدد الكوني والسرعة المتناهية للضوء. وعندما نتساءل عن حجم الكون، فنحن نقصد بذلك حجمه «الآن». لكن الضوء لا ينتقل على الفور عبر الكون؛ مما يعني أننا نرى المناطق البعيدة على ما «كانت» عليه وليس على ما هي عليه «الآن». وعليه، عندما نرصد مناطق بعيدة، فنحن ننظر إلى حقبة ماضية حين كان الكون أصغر حجمًا؛ لذا يتعين علينا استنتاج حجم الكون وعمره بواسطة نموذج للتمدد الكوني منذ حدوث الانفجار العظيم، ولحسن الحظ، معامِلات هذا النموذج محددة جيدًا.

اكتشف هابل أن المجرات البعيدة تبتعد عنا على نحو أسرع. وفي نقطة ما، سننظر بعيدًا للغاية، حتى إننا سنرى المجرات التي تبتعد عنا بسرعة الضوء لحظة انبعاث الضوء منها. تلك المسافة تمثل حجم الكون القابل للرصد. يشبه مسلك الفوتونات المنبعثة من تلك المجرات مسلك «أليس» في سباق الملكة الحمراء في رواية «عبر المرآة»؛ حين كانت تجري بأقصى سرعة فقط كي تستطيع البقاء في مكانها. لو أن عمر الكون هو ١٣٫٧ مليار عام، فربما تعتقد أن حافة هذا الكون القابل للرصد في أي اتجاه تبعد بمسافة تبلغ ١٣٫٧ مليار سنة ضوئية، لكنها في واقع الأمر أكبر من ذلك بكثير؛ لأنه طيلة معظم تاريخ الكون كان معدل التمدد يقل نظرًا لقوة الجذب التي تمارسها المادة في مقابل الدفع الأولي الناشئ عن الانفجار العظيم (الشكل ١١-٣).

يعادل النظر في الفضاء النظر في وقت سابق من الزمان، فالمجرة التي تبعد عنا مسافة ٥ مليارات سنة ضوئية أشبه بشخصية أليس في سباق الملكة الحمراء، فهي تتحرك مبتعدة عنا بسرعة الضوء منذ زمن طويل، لكن منذ ذلك الحين تناقصت سرعة ابتعادها؛ من ثم فإن الفوتونات المنبعثة منها يمكن أن تلحق بنا بعد انتقالها عبر مسافات هائلة. إن أكبر تليسكوباتنا يمكنها بالفعل رؤية المجرات الأبعد. يبلغ عمر الضوء المنبعث منها ١٢ مليار عام، وعندما انبعث هذا الضوء منها كانت تلك المجرات تبتعد عنا بسرعة تعادل ضعف سرعة الضوء.[٥] وبفضل هذا التمدد الشاسع للفضاء، فإن أقصى مسافة يمكن رؤيتها — ومن ثم حجم الكون القابل للرصد — يُقدر بحوالي ٤٦ مليار سنة ضوئية في جميع الاتجاهات.



شكل ١١-٣: رسم بياني يوضح بعض النتائج الغريبة والمنافية للمنطق الناجمة عن حقيقة أن الأجزاء البعيدة من الكون يمكن أن يبتعد بعضها عن بعض بسرعة تزيد عن سرعة الضوء. فمع تزايد الإزاحة الحمراء، يقترب الوقت الذي يستغرقه الضوء المنبعث للوصول إلى كوكب الأرض من عمر الكون؛ أي ١٣٫٧ مليار عام. يوضح المنحنى السفلي المسافة مقدرة بمليارات السنوات الضوئية، أو الوقت الذي يستغرقه الضوء للوصول إلى كوكب الأرض مقدرًا بمليارات السنوات، بين أي نقطتين واقعتين على تلك الإزاحة وقت انبعاث الضوء. أما المنحنى العلوي، فيوضح المسافة بين أي نقطتين واقعتين على تلك الإزاحة في الوقت الحالي.
(Kirk Korista, Western Michigan University)

هل يتوقف الفضاء عند هذا الحد؟ بالطبع لا. تذكر أن نموذج الانفجار العظيم يحتوي على مكون آخر يُعرف بالتضخم، وهو من المفاهيم اللازمة لتفسير سبب سلاسة واستواء الفضاء بصورة عامة، فبفضل التضخم تمدد الكون على نحو مفاجئ بمعامل ضخم؛ من ثمَّ فإن الكون القابل للرصد ليس سوى رقعة صغيرة من مساحة أكبر بكثير من الزمكان.[٦] نحن نجهل مقدار هذه المساحة لأن نموذج التضخم لا يحدد حجم الزمكان المتضمن. إن تلك الرقعة الصغيرة التي أصبحت تمثل الكون الذي نعيش فيه

كانت تفاوتًا كموميًّا في النموذج، وطبيعة ذلك التفاوت غير مؤكدة على نحو محتوم. لكن إن حدث التضخم، فسيكون الكون المادي — كل ما هو موجود — أكبر حجمًا بكثير من الكون القابل للرصد؛ أي كل ما يمكننا رؤيته.

(١-٤) شكل الفضاء

إن استيعاب وتحديد شكل الكون أيسر كثيرًا من استيعاب وقياس حجمه. تفيد نظرية النسبية العامة أن للكون انحناءً كرويًّا يحدده متوسط كثافة المادة فيه. ووفقًا لمقدار الكتلة التي يحويها، قد يكون الكون منبسطًا أو ذا انحناء موجب، كالشكل ثلاثي الأبعاد لسطح المنطاد، أو ذا انحناء سالب، كالشكل ثلاثي الأبعاد لسرج الحصان.

ذلك هو المفهوم النظري، لكن ماذا عن المشكلة العملية المتمثلة في قياس شكل شيء لا يمكنك رؤيته؟ حاول علماء الفلك قياس شكل الفضاء على مدار عقود باستخدام المجرات وحتى النجوم الزائفة، لكن باءت محاولاتهم بالفشل. جاءت الإجابة من خلال الملاحظات المتأنية لإشعاع الخلفية الميكروني، الذي يحتوي على عدد هائل من الفوتونات منخفضة الطاقة المتخلفة عن الانفجار العظيم. إننا نشهد اختلافات طفيفة في درجة الحرارة أو ما يشبه «البقع» في تلك الإشعاعات الميكرونية عبر فجوات زمنية ومكانية؛ نظرًا لأن ذلك الإشعاع انبعث من الكون عندما كان عمره ٣٨٠ ألف عام فقط.

فكِّر في الكون وكأنه تجربة بصرية هائلة. لو افترضنا أن للفضاء انحناءً سالبًا أو موجبًا، فقد تكون البقع مكبَّرة أو مصغَّرة مقارنة بما يكون عليه الحال لو أن الفضاء منبسط. في حقيقة الأمر، نحن نرى البقع بالحجم نفسه الذي كانت ستظهر به لو أن الفضاء منبسط دون أي تكبير أو تصغير، ومن ثم، ليس هناك أي انحناء للكون في أغلب الظن. تتسم القياسات الحديثة التي يلتقطها «مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية» بالدقة الشديدة، وقد قدَّر هذا المسبار أن نسبة الانحراف عن الانبساط تقل عن ٢٪.

مع ذلك، فحقيقة أن الكون المرئي هو جزء بسيط من حيز الزمكان الأكبر حجمًا تطرح أمامنا العديد من الاحتمالات المثيرة. بلغة نظرية النسبية العامة، يعد شكلنا الهندسي المحلي مسطحًا (هذا إن أمكننا أن نطلق اسم الشكل المحلي على كون تبلغ مساحته ٩٢ مليار سنة ضوئية)، أما الشكل الهندسي الشامل فلا يمكن قياسه بسهولة. قد يكون الشكل الهندسي الشامل استمرارًا للشكل الهندسي المحلي؛ بحيث يتمدد الفضاء

المنبسط على نحو لانهائي في جميع الاتجاهات. وقد يكون ذلك الشكل أكثر إثارةً وغرابة؛ مجموعة من الأشكال الهندسية ذات الانحناءات السالبة والموجبة. في واقع الأمر، يجب أن نميز بين الهندسة اللاكمية للفضاء (الطوبولوجيا) وانحنائه؛ إذ تتضمن الهندسة اللاكمية أفكارًا رياضية أخرى مثل الترابط؛ بمعنى ما إذا كان يمكنك فعلًا الانتقال من النقطة (أ) إلى النقطة (ب)، أو ما إذا كان يمكنك بعد الانتقال من (أ) إلى (ب) أن تعود من (ب) إلى (أ)!

أفضل ما ينبئنا بالشكل الهندسي الشامل هو إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، غير أن الآثار المتخلفة عن الإشعاع طفيفة للغاية، لذا نشب الخلاف ولم يتحقق إجماع بالموافقة على أي من الادعاءات التي تزعم وجود انحراف عن الفضاء المنبسط. في السنوات الخمس أو الست الماضية زعمت مجموعات مختلفة من الأشخاص رؤية دليل على الشكل الهندسي الشامل في شكل أسطوانة ونتوء مستدير وكرة قدم وبوق. تذكر أن هذه الأجسام المألوفة منحنية في بعدين، أما فيما يتعلق بالكون فينبغي أن تتخيل هذا الانحناء في ثلاثة أبعاد. نعم هذا أمر صعب، وعلى الممارسين التخلي عن الخيال والانغماس في بعض المفاهيم الرياضية المعقدة لفهم انحناء الفضاء.

الأشكال الثلاثة الأولى جميعها أمثلة على الشكل ذي الانحناء الموجب. تلك الأشكال من الفضاء متناهية، ومن ثم بإمكان الإشعاع الانتقال عبر الكون عدة مرات، ويكون الأثر الدال على ذلك تطابق البقع الميكرونية على الجوانب المتقابلة للسماء؛ مثل البقع الموجودة على سطح كرة القدم (تعد كرة القدم واحدة من مجموعة صغيرة من أشكال الفضاء عالية التجانس التي تتألف من اتحاد أشكال خماسية على نحو تام). أما المثال الأخير، فهو شكل شامل ذو انحناء سلبي، أطلق عليه بوق بيكار (نسبةً إلى عالم الرياضيات الفرنسي إميل بيكار). وآثار هذا النوع من الكون هي غياب البقع البنيوية كبيرة الحجم للغاية، وكذلك البقع الصغيرة التي تظهر بشكل بيضاوي وليس دائريًّا؛ نظرًا لأن الفضاء ذا الانحناء السالب يعمل عمل العدسات المشوهة للرؤية.[٧] ومن المتوقع أن يوجد قياس جديد أكثر دقة عن طريق القمر الصناعي «بلانك» الذي أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية عام ٢٠٠٩.

(١-٥) مستقبل بنية الكون

من الصعب أن نتخيل أن الكون سينتهي يومًا ما؛ لأنه يبدو أبديًّا ولا يتغير. إن تمدد الكون أمر غير مدرك بالمقاييس الزمنية البشرية. وقد جمَّع علماء الفلك قصة تكوُّن بنية الكون واستطاعوا التوصل إلى تنبؤات بشأن المستقبل. ومن أكثر سمات الكون المثيرة للاهتمام تكتله، فدون تلك الصفة، ما كانت النجوم أو المجرات لتوجد؛ من ثمَّ لما وُجِدَت الكواكب أو البشر أنفسهم!

ثمة أربعة مكونات رئيسية تتحكم في تاريخ الكون المتمدد ومستقبله؛ ألا وهي الفوتونات والمادة العادية والمادة المظلمة والطاقة المظلمة. هناك مليارا فوتون مقابل كل جسيم، وفي المرحلة الأولى التي كان فيها الكون كرة نارية كان الكون يتألف من حساء متجانس تمامًا من الفوتونات عالية الطاقة والجسيمات التي تتحرك بسرعة مقاربة لسرعة الضوء. بعد الانفجار العظيم بحوالي ٥٥ ألف عام، كانت كثافة المادة وكثافة الإشعاع متساويتين، لكن مع تمدد الكون، انخفضت كثافة المادة نظرًا لزيادة الحجم، بيد أن كثافة الطاقة انخفضت بدرجة أسرع بسبب تمدد جميع الفوتونات أو انزياحها إلى اللون الأحمر متجهة إلى مستويات الطاقات الأقل بفعل التمدد. لم يكن الإشعاع مؤثرًا منذ مولد الكون.

مع انحسار قوة الإشعاع، صارت الهيمنة للجاذبية، وبدأت في تكوين بنية الكون، وبعد مرور ما يقرب من ٣٨٠ ألف عام على الانفجار العظيم، كانت درجة الحرارة ٢٧٣٠ درجة مئوية (٤٩٥٠ درجة فهرنهايت)، وقد ساعدت تلك الحرارة المنخفضة بما يكفي على تشكل الذرات المستقرة، لكن لم يكن هناك أضواء في الكون إلا بعد مرور ١٠٠ مليون عام بعد أن تكونت النجوم الأولى. ونظرًا لأنه لم يوجد أي أثر للكربون في تلك الآونة، يمكننا الجزم بأنه لم يوجد أي شخص يمكنه مشاهدة هذا العرض الضوئي الجميل.

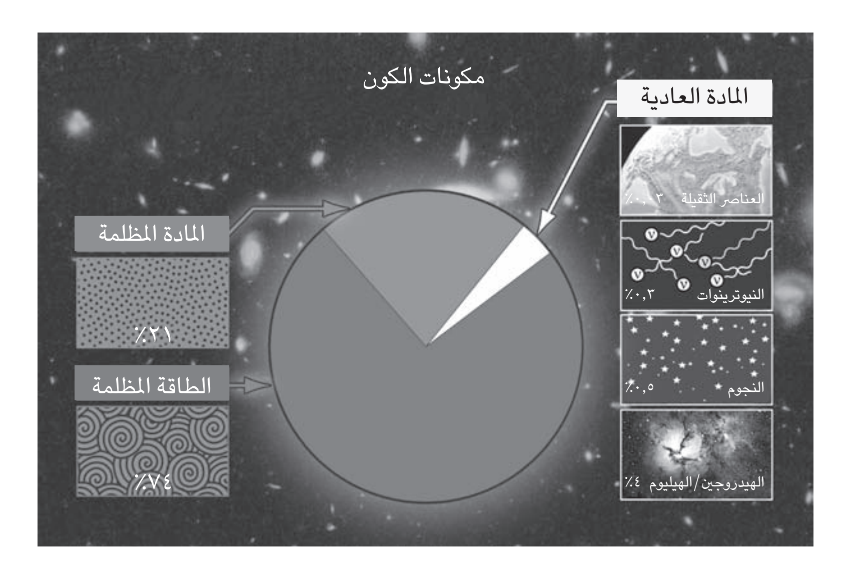
أما تشكل المجرات فخضع لسيطرة ما يسمى بالمادة المظلمة؛ التي تفوق المادة العادية حجمًا بنسبة ٦ إلى ١. على مدار العقود الثلاثة الماضية، جمَّع علماء الفلك العديد من الأدلة غير المباشرة التي تبرهن على وجود مادة لا ينبعث منها إشعاع من أي نوع، لا يمكن أن تكون تلك المادة ثقوبًا سوداء أو نجومًا ميتة أو كواكب تسبح في الفضاء بحرية أو صخورًا أو جسيمات غبار متناثرة في الفضاء؛ الأمر الذي لا يترك سوى جسيمات أصغر من حجم الذرة تتفاعل بصورة ضعيفة مع المادة العادية. وتقدم

النظريات الفيزيائية معلومات إرشادية عما يمكن أن تكون عليه هوية جسيمات المادة المظلمة، وهناك تجارب عديدة قيد التنفيذ الآن من أجل استكشاف هذا المكون الأساسي للكون بصورة مباشرة.

شكلت الجاذبية تركيزات صغيرة من المادة المظلمة أولًا، وبعد ذلك تكونت بنى أكبر حجمًا نتيجة لاندماج البنى الأصغر لتشكل هيكلًا هرميًّا يمتد من الأسفل إلى الأعلى. وسقطت المادة العادية في قلب «ينابيع» المادة المظلمة هذه. تكوَّنت المجرات الأولى بعد وقوع الانفجار العظيم بحوالي ٣٠٠ مليون عام؛ إذ تكونت المجرات الصغيرة في بادئ الأمر ثم اندمج بعضها مع بعض لتشكل مجرات أكبر حجمًا، وفي النهاية تكونت عناقيد مجرية عملاقة يقترب بعضها من بعض الآن لأول مرة بفعل الجاذبية. إننا نرى آثارًا من عمليات الاندماج هذه في مجرتنا الكبيرة نسبيًّا التي التهمت العديد من المجرات الصغيرة القزمة حتى تصل إلى حجمها الحالي، وتظهر هذه الآثار في شكل خيوط نجمية في الهالة.

على نحو منافٍ للمنطق، تشكلت النجوم داخل أكبر المجرات حجمًا أولًا، وذلك بعد حدوث الانفجار العظيم بحوالي ٣ إلى ٤ مليارات عام، ثم تشكلت النجوم في أصغر المجرات حجمًا بعد مرور من ٧ إلى ٨ مليارات عام. وقد انتهى عصر تشكل المجرات والنجوم الآن تقريبًا. وفي الثلاثة أرباع الأولى من تاريخ نشأة الكون، كان سطوع تلك الأجسام يفوق سطوعها الحالي بعشرة أضعاف. وقد ساعد تمدد الكون في إخماد تكون بنى جديدة، فضلًا عن أن الغاز الذي ربما كان متوافرًا لتكوين نجوم جديدة تشتت في الفضاء الموجود بين المجرات.

على مدار معظم الزمان الكوني، كانت المادة المظلمة تعمل على الحد من ظاهرة التمدد، لكن منذ ما يقرب من ٥ مليارات عام، فرض مكون كوني جديد ومثير للدهشة هيمنته؛ ألا وهو الطاقة المظلمة. يوضح رسم بياني دائري للكون أن قرابة ٧٤٪ من الكون يتألف من الطاقة المظلمة، و٢١٪ من المادة المظلمة، و٥٪ من المادة العادية (الشكل ١١-٤).[٨] ومما يدعو للدهشة أن معظم المادة العادية ذات حرارة مرتفعة وموزعة في الفضاء بين المجرات؛ أي إن المادة التي تشكل $١٠^{٢٢}$ نجم في ٥٠ مليار مجرة تمثل ٠,٥٪ فحسب من الكون!



شكل ١١-٤: رسم بياني دائري لمحتويات الكون. لا تشكل المادة العادية سوى نسبة ٥٪، ويمثل مجموع المادة التي يتكون منها ١٠٢٢ نجم نسبة ٠٫٥٪ فقط من إجمالي محتوى الكون. لم يجْرِ استيعاب ماهية كل من المادة المظلمة والطاقة المظلمة على نحو جيد بعد، بيد أنهما يتحكمان تمامًا في تمدد الكون. (Hobby–Eberly Dark Energy Experiment, McDonald Observatory)

(٢) نهاية كل شيء

(٢-١) الطاقة المظلمة

رصد سول بيرلموتر، عالم الفيزياء الذي يعمل في مختبر لورنس بيركلي الوطني، إشارة في البيانات الخاصة بالمستعرات العظمى، وهي الإشارة التي ما كان ينبغي أن تكون موجودة. في الواقع، كانت هذه الإشارة عكس تلك التي توقعها هو وأي شخص آخر في فريقه. تتسم ملاحظة الكون ورصده بالصعوبة البالغة، وربما كانت البيانات متضاربة لدرجة يصعب معها الاعتماد عليها، وربما وقع فريسة لأحد الأخطاء المنهجية التي يقع فيها العلماء من وقت لآخر؛ فحتى العالم العظيم إدوين هابل غالى في تقديره لمعدل تمدد

الكون وقلل من عمر الكون بمعامل قيمته ٧ بسبب خطأ منهجي لم يدركه.[٩] ربما كانت الأفكار الخاصة السوداوية هي أكثر ما أزعج بيرلموتر؛ إذ كان دخيلًا على مجال علم الكونيات وكان البعض يتصيدون له الأخطاء وينتظرون تعثره.

إلا أن فريقًا آخر بقيادة بريان شميت وآدم رايس في جامعة هارفارد توصل إلى النتائج نفسها. وفي عام ١٩٩٨، نشرت المجموعتان البيانات التي توصلتا إليها، وهو ما تسبب في تغير مشهد علم الكونيات نهائيًّا. كانت المجموعتان تتبعان نهج هابل القائم على استخدام أجرام ذات درجة سطوع معروفة لتتبع تاريخ تمدد الكون. على الرغم من ذلك، فإن النجوم المتغيرة التي استخدمها هابل يمكن رؤيتها فقط من مسافة ٣ مليارات سنة ضوئية، ومن ثم كانت هناك حاجة إلى وسيلة جديدة يمكن بها حساب تمدد الكون فيما وراء ذلك؛ لذا، فضَّل الفريقان نوع انفجارات المستعرات العظمى الذي يحدث في نظام نجمي ثنائي؛ نظرًا لأن كل انفجار له درجة ثابتة من السطوع، فضلًا عن أن سطوع المستعر الأعظم يفوق سطوع المجرة التي تحتويه، ومن ثمَّ يمكن رؤية تلك الأنواع من الانفجارات من مسافات كبيرة للغاية.

ما الذي رأوه؟ تنبأ النموذج القياسي للتمدد متباطئ السرعة بدرجة العتامة التي ينبغي أن تكون عليها انفجارات المستعرات العظمى من مسافة تبلغ ٥ إلى ٦ مليارات سنة ضوئية، وقد لاحظ كلا الفريقين أن انفجارات المستعرات العظمى كانت أعتم مما ينبغي أن تكون عليه بنسبة ٣٠٪ في المتوسط. سبب ذلك هو إما أن النجوم المتفجرة كانت غريبة ومعتمة في حد ذاتها لسبب ما، أو أنها موجودة على مسافة أبعد من مكانها الطبيعي بنسبة ١٥٪، وتفسير ذلك هو أن الفضاء تمدد بذلك المقدار الإضافي نسبةً إلى الكون الخاضع لسيطرة المادة، وهذا «الشيء» الإضافي كان يتسبب في زيادة سرعة تمدد الكون.

لأكثر من عشر سنوات تالية، ظللنا على جهلنا بماهية ذلك الشيء، وعلى غرار «المادة المظلمة» فإن مصطلح «الطاقة المظلمة» ما هو إلا تعبير عن جهلنا، وليس وصفًا ماديًّا. كل ما نعرفه حقًّا هو أن ثمة قوة تعمل عمل الجاذبية المضادة أو الغازات ذات الضغط السالب، وأنها بدأت في السيطرة على سلوك الكون منذ حوالي ٥ مليارات عام. نخلص مما سبق إلى أن للكون قوة تعمل على إبطاء تمدده وأخرى تزيد من سرعة هذا التمدد. تتمثل القوة الأولى التي تعمل على إبطاء تمدد الكون في المادة المظلمة، وهي صارت ذات تأثير أضعف مع تمدد الكون وانخفاض كثافته. أما القوة التي تعمل على تسارع التمدد

فتتمثل في الطاقة المظلمة، التي كانت موجودة دومًا ويهيمن تأثيرها بوضوح الآن. لذا يمكن أن نقول إننا نعيش في كون سريع التقلب.

كان سول بيرلموتر سينزعج حقًّا لو أنه عرف مقدار القلق الذي قد تثيره الطاقة المظلمة في مجتمع الفيزياء. في بداية عشرينيات القرن العشرين، وقبل الاكتشافات العظيمة التي توصل إليها هابل، كان علماء الفلك يخبرون أينشتاين أن الكون ساكن، لكن نظريته أظهرت أن الكون ديناميكي. وقد «جمَّل» أينشتاين معادلاته بإضافة ثابت كوني كي يواجه ميلهم للتنبؤ بانهيار الكون على ذاته.

ربما كانت الطاقة المظلمة هي الثابت الكوني الذي استخدمه أينشتاين، أو ربما كانت نوعًا غريبًا من الطاقة يختلف على امتداد الزمان والمكان يُسمى بمجال الكوينتيسينس. تعزو الفيزياء القياسية تلك الطاقة إلى الفراغ، لكن أفضل الحسابات تتنبأ بطاقة أكبر مما يحتاجه العلماء لتفسير تسارع تمدد الكون بمقدار $١٠^{١٢٠}$ مرة. بمقدورنا أن ننحي نظرية النسبية العامة جانبًا، التي حققت نجاحًا مدويًّا كنظرية للجاذبية، أو أن نتوصل إلى نظريات فيزيائية جديدة جريئة. من الصعب تحديد مَن الذي سيشعر بإحراج أكبر؛ علماء الفلك الذين لم ينجحوا في تفسير سوى نسبة ٥٪ فقط من الكون أم الفيزيائيون الذين أخفقوا في تقدير حجم الطاقة المظلمة بمقدار ١٢٠ قيمة أسية.

بصرف النظر عن الحيرة النظرية التي تراودنا، تظل الملاحظة هي العامل الحاسم، فمن الملاحظ أن الكون يتمدد بمعدل متزايد، ولو استمر هذا الأمر، فإن هذا ينذر حتمًا بنهاية تهيمن عليها الوحدة الشديدة، لكن خصائص الطاقة المظلمة غير محددة تمامًا من واقع الملاحظة أو النظريات، لذا يجب أن نضع في اعتبارنا نسبة قليلة من المادة العادية غير السوداء عند التنبؤ بالنتائج طويلة الأمد.

(٢-٢) الآفاق غير المرئية

مع أن الكون دائم التمدد، فليس كل ما فيه يتمدد؛ فجسدك وسيارتك ومنزلك كلها أشياء لا تتمدد؛ لأنها متماسكة بعضها مع بعض بفعل القوى الذرية. أيضًا نفس الحال مع المجموعة الشمسية التي لا تتمدد؛ لأن جميع مكوناتها متماسكة بعضها مع بعض بفعل الشمس، هذا بالإضافة إلى المجرات، بما فيها مجرة درب التبانة، التي لا تتمدد بفعل مدارات النجوم التي يحيط بها ينبوع المادة المظلمة الشامل.

ستعمل الطاقة المظلمة على سحب الكثير من المجرات بعيدًا بعضها عن بعض، لكنها لن تُخل بالتكامل البنيوي لمجموعات أو عناقيد المجرات، على المدى القصير على الأقل. قد يبث الكون ذو التمدد المتباطئ شعورًا بالراحة؛ لأنه يطرح احتمال رؤية المزيد من أبعاده، فأقصى حدود رؤيتنا في دراسة الكون هو الأفق، مثل حدود رؤيتنا لأي مكان على كوكب الأرض. ويتمدد الأفق في الكون ذي التمدد المتباطئ بمرور الوقت؛ لأن الضوء يمكن أن يصل إلينا من مناطق أكثر بعدًا فضلًا عن المناطق التي كانت تبتعد بعضها عن بعض بسرعة أكبر من سرعة الضوء في السابق، ومن ثم يتيح التمدد المتباطئ للضوء «اللحاق بنا». ونخلص من ذلك إلى أن الكون القابل للرصد يصبح أكبر حجمًا كل يوم عن ذي قبل.

الكون ذو التمدد المتسارع يسبب ابتعاد المناطق النائية بعيدًا عنا بصورة أسرع وأسرع، وأي شيء لا تتحكم فيه الجاذبية سينجرف بعيدًا بحيث يتعذر علينا رؤيته. يمكن تشبيه الموقف في الكون ذي التمدد المتباطئ بالصياد الذي لديه العديد من صنارات الصيد والأسماك العالقة في أطراف الصنارات، هذا الصياد يترك السمك يلهو ويلعب؛ لأنه يعرف أنه سيصيبه الإعياء في وقت ما وستقل سرعته، ومن ثمَّ سيسحبه ويستمتع بوجبة شهية. أما في حالة الكون ذي التمدد المتسارع فينتاب الصياد الهلع وهو يرى جميع الأسماك تهرب من أمامه بصورة أسرع وأسرع، بحيث لا تتسنى له الفرصة لاصطيادها، وهكذا يظل الصياد جائعًا.

عمل مايكل بوشا وزملاؤه من جامعة ميشيجن على استشراف العواقب الناجمة عن التمدد المتسارع للكون، مفترضين أن الطاقة المظلمة لا تختلف على امتداد الزمان والمكان.[١٠] فما سبب تسارع تمدد الكون؟ نظرًا لأن الطاقة المظلمة تعد مادة داخلية المنشأ من الفراغ ولأن الفضاء يتمدد باستمرار، فهناك المزيد من الفراغ وكذلك كم أكبر من الطاقة المظلمة؛ هذا ينتج عنه بالتبعية المزيد من الفضاء. إنه تأثير متعاظم يؤدي إلى تمدد الكون بصورة أُسية.

لا تستطيع الجاذبية تكوين بنى جديدة في مواجهة تسارع تمدد الكون، فضلًا عن أن البنى الموجودة بالفعل ستكون أكثر انعزالًا، وتصبح مجموعات وعناقيد المجرات رقعًا متناهية الصغر في الزمكان متزايد الحجم بسرعة، بحيث تشكل كل مجموعة منها «جزيرة كونية» مصغرة لا تتصل بغيرها من مجموعات أو عناقيد المجرات بأي شكل من الأشكال. وتكون الكتلة في هذه البنى المنعزلة أصغر من الطاقة المظلمة الموجودة داخل الأفق بتريليونات المرات. ستصبح المادة منعزلة وعديمة الأهمية.

إليك أبرز علامات هذا السيناريو.[11] على مدار مليارات الأعوام القليلة التالية، لن يكون بمقدور علماء الفلك المستقبليين رؤية الكون البعيد القديم؛ لأن الفوتونات التي كانت تقترب منا في يوم ما أصبحت الآن تبتعد عنا على نحو أسرع من تمدد الضوء، وبعد ١٢٠ مليار عام، عندما يكون الكون أكبر من حجمه في الوقت الحالي بألف مرة، سيبتعد عنقود العذراء المجري عن الأفق الذي نراه وستصبح مجرة ميلكوميدا المجرة الوحيدة التي نستطيع رؤيتها. يا لسوء حظ علماء الكونيات وقتها؛ الذين لن يقدروا إلا على التحديق في مجرتهم وحسب!

بل سيزداد الأمر سوءًا عندما تحدث نقاط التحول التالية بعد مرور ما يقرب من تريليون عام، وهو الوقت الذي ستستمر فيه أقل النجوم كتلة الموجودة في المجرات المماثلة لمجرة درب التبانة في السطوع لكن على نحو خافت. سيستطيل الإشعاع بسبب تمدد الكون، ومن ثم فالموجات الميكرونية المتخلفة عن الانفجار العظيم، التي تمددت بالفعل بمعامل قيمته ١٠٠٠ في الفترة بين ٣٨٠ ألف عام بعد الانفجار العظيم والوقت الحالي، ستستطيل مرة أخرى بمقدار معامل قيمته $١٠^{٢٨}$. تلك الفوتونات تماثل في حجمها حجم الأفق، ولم يعد الكون قادرًا على احتوائها. وبعد مرور ١٤٠ مليار عام أخرى، حين يكون حجم الكون قد زاد بمعامل قيمته ١٠٠٠٠، سيستطيل ضوء النجوم المنبعث من مجرتنا أو أي مجرة أخرى لما وراء الأفق. لن تكون هناك أي فوتونات داخل هذه الجزر الكونية، بل ستتجسد آثارها على هيئة مجالات كهربية متغيرة ببطء.

سيتعين على مَن يعيش في الكون بعد هذه الأحداث أن يقتصر على حيز الزمكان الخاص به، الخالي من المادة والإشعاع، ولن يتاح له سوى نطاق رؤية محدود للغاية. سيصبح كل أفق بمنزلة أفق حدث؛ من ثمَّ سيبدو وكأنه محاصر في قلب ثقب أسود. يرى ستيفن هوكينج أن الإشعاع الخافت سيتسرب إلى كل أفق بدرجة حرارة تبلغ $١٠^{-٢٩}$ درجة كلفنية فقط (−٤٦٠ فهرنهايت). وسيكون رد فعل السكان حينها كرد فعل جاليليو عندما حُكم عليه بالإقامة الجبرية في منزله وأصابه العمى نتيجة كثرة النظر إلى الشمس دون حذر وقال: «هذا الكون الذي زدت من حجمه بآلاف المرات … انكمش الآن حتى أصبح لا يتجاوز حدود جسدي.»

(٢-٣) الانفصام العظيم

عادةً ما كانت السيناريوهات المحتملة لنهاية الكون سهلة الوصف والفهم نسبيًّا. كان هناك احتمالان لنهاية الكون؛ التحول إلى كرة ثلجية أو كرة نارية. وعندما ألف الشاعر

روبرت فروست قصيدته عن مصير الكون، وضع احتمالين لذلك المصير: الاحتمال الأول هو عدم احتواء الكون على مادة كافية للتغلب على التمدد الكوني مما سيجعل الكون أكبر حجمًا وأبرد وأكثر تعقيدًا. أما الاحتمال الثاني فهو أن التأثير التراكمي لجذب جميع مكونات الكون بعضها إلى بعض سيتسبب في أن يصل حجم الكون إلى حد معين، ثم التنهد (بمعنى استعاري)، ثم ينهار على ذاته في تسلسل زمني عكسي للأحداث منذ وقوع الانفجار العظيم. وفي أواخر سبعينيات القرن العشرين، امتلك علماء الفلك معلومات إحصائية كافية جيدة عن حجم المادة المظلمة استنتجوا منها أن تلك المادة ليست متوافرة بكميات كافية للتغلب على التمدد؛ مما يعني أن الكون سيستمر في تمدده إلى الأبد.

لا تزال النتيجة واحدة؛ فلن يحدث «انسحاق عظيم»، والصورة الشعرية الرائعة عن الموت من فرط الحرارة أو البرودة موضع نقاش، لكن الطاقة المظلمة وحش جديد وغير مألوف يغير كل شيء، ونحن لا نعرف عنها سوى القليل، حتى إن المنظرين يطلقون العنان لخيالاتهم الخصبة.

يتمثل الخيار الأبسط في ثابت أينشتاين الكوني؛ تلك الطاقة المظلمة التي لا تختلف في أي مكان في الكون ولا تتطور بمرور الوقت. لقد واجهنا بالفعل مشكلة تتعلق بذلك الأمر وهي حقيقة أن الطاقة المظلمة أصغر بمقدار ١٢٠ قيمة أسية من القيمة التي عادةً ما تحددها النظريات الحالية لفيزياء الجسيمات. كان هذا هو الدافع وراء اكتشاف مجال الكوينتيسينس الذي يعزو تسارع تمدد الكون إلى تأثيرات جسيم جوهري افتراضي ضخم الحجم. ومن الممكن اعتبار أن الطاقة المظلمة كانت قيمتها الطبيعية كبيرة في الكون المبكر، ثم تطورت بعد ذلك إلى القيمة الصغيرة للغاية التي هي عليها في الوقت الحالي.

أكثر أشكال مجال الكوينتيسينس تطرفًا هو الطاقة الشبحية. وفي بحث أجري عام ٢٠٠٣، أظهر روبرت كالدويل، من كلية دارتموث، وزملاؤه صدقًا ملحوظًا بشأن دافعهم لاستكشاف تلك الطاقة قائلين: «لا ريب أن الطاقة الشبحية ليست شيئًا يتوقعه أي منظِّر، وعلى الجانب الآخر لم يتنبأ كثير من المنظرين بوجود ثابت كوني!»[١٢] تشير الطاقة الشبحية إلى الكون وهو في حالة هياج شديد، وهي لا تعني وجود التمدد أو التسارع وحسب، بل تعني أيضًا أن «التسارع» يتزايد، فالكون يتمدد إلى حجم غير محدود في وقت محدود.

إليك ما سيحدث: سوف تزداد قوة الطاقة المظلمة على نحو هائل، حتى إنها لن تتسبب فقط في تحرير أي جسم مقيد بواسطة الجاذبية، لكنها قد تتخطى أيضًا في

النهاية القوى الأساسية الأخرى وتسبب عدم تماسك المادة. وبعد حوالي المليار عام من الآن، قد تعمل الطاقة الشبحية على الفصل بين تجمعات المجرات. ليس هذا فحسب، بل من المحتمل أن تجذب أيضًا مجرة المرأة المسلسلة قبل وصولها إلى مجرة درب التبانة، ومن ثمَّ نُحرم من متعة مشاهدة تكون مجرة ميلكوميدا. وستتصاعد الأحداث بعد ذلك حتى تصل إلى ذروتها بعد ٢٠ مليار عام بدءًا بما يُعرف باسم «الانفصام العظيم»؛ من ثمَّ يجري حساب الأزمان من ذلك الحين (الشكل ١١-٥).

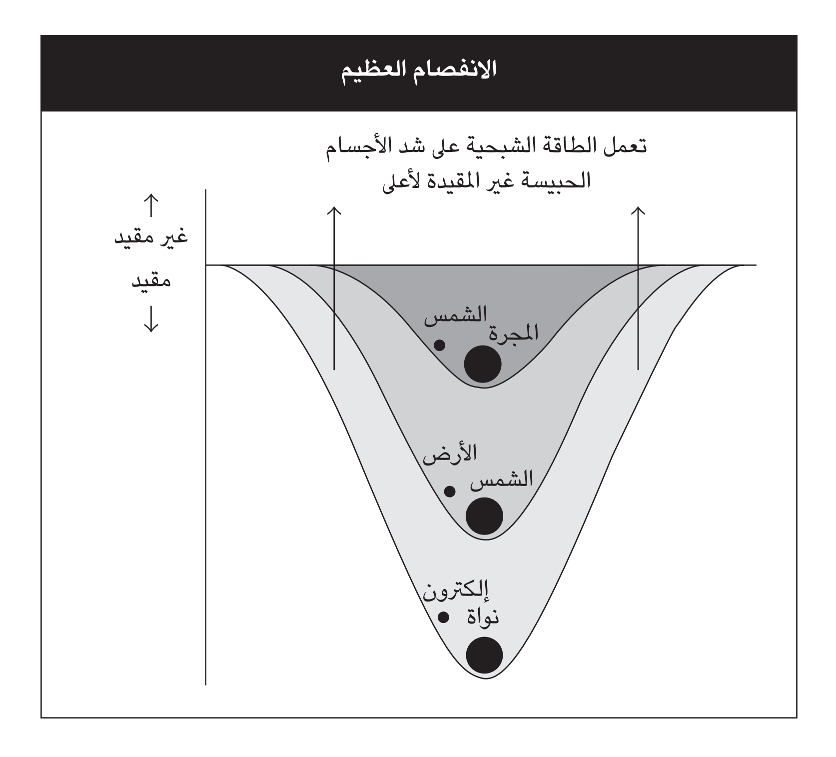
قبل حدوث الانفصام العظيم بستين مليون عام، ستتمزق مجرة درب التبانة إربًا، وسينفصل كوكب الأرض وغيره من الكواكب عن الشمس قبل النهاية بثلاثة أشهر، وقد يلاحظ مَن يقف على كوكب الأرض وهو يتحرك بعيدًا عن الشمس أن الطاقة المظلمة قد ازدادت لتصبح بمثل قوة القوى الذرية الداخلية لكن على مقياس الكواكب، يحدث ذلك قبل ٣٠ دقيقة من الانفصام العظيم، وستنشطر الذرات قبل النهاية بنحو $١٠^{-١٩}$ ثانية، وعندئذٍ سيكون الكون متفكك الأجزاء تمامًا.

يشبه الانفصام العظيم الانفجار العظيم بدرجة كافية لجعله غير مُرضٍ، لكن يمكن القول إنه مروع بدرجة كافية لأن يكون إثبات عدم حدوثه أمرًا رائعًا. وربما لن يجري الاتفاق بشأنه إلى أن يعود القمر الصناعي «بلانك» بقدر كبير من البيانات، لكن عمليات الرصد الأخيرة تفيد أن الطاقة المظلمة تتوافق مع ثابت أينشتاين الكوني. وبقدر من الارتياح قد يمكننا أن نزيل الانفصام العظيم من قائمة المخاوف التي تؤرقنا.

يحب علماء الفلك الإثارة المتولدة عن المطاردة، وقد عبر عن ذلك عالم الفلك آدم رايس — أحد أوائل من شاركوا في اكتشاف تسارع تمدد الكون في تسعينيات القرن العشرين — بقوله: «لو أن هذه مطاردة لصيد الثعالب وافترضنا أن الطاقة المظلمة هي الثعلب الذي نطارده، ففي اعتقادي أننا قد أغلقنا طريقًا آخر للهرب أمام هذا الثعلب. لكن لا تزال هناك الكثير من المخابئ أمام الثعلب للهرب إليها، لكن إلى الآن لم نَرَ أكثر من فراء الثعلب.»[١٣]

(٢-٤) الزوال البطيء

كتب ويليام بتلر ييتس في بداية قصيدته بعنوان «العودة الثانية» يقول: «تبتعد الأشياء بعضها عن بعض ولا يستطيع المركز التماسك، ولا يوجد سوى الفوضوية التي تعم العالم بأكمله.» بعد موت النجوم واندماج المجرات وتمدد الفضاء إلى أن يصبح متلألئًا



شكل ١١-٥: في نموذج «الانفصام العظيم» بعلم الكونيات، ثمة شكل معين من الطاقة المظلمة يعمل على زيادة تسارع تمدد الكون، نتيجة لذلك ستهزم كل القوى التي تعمل مثل «المادة اللاصقة»، ويتمثل ذلك أولًا في انفصال النجوم عن المجرات ثم انفصال الكواكب عن النجوم وأخيرًا انشطار الذرات. (David Caldwell, UC Santa Barbara, and the American Institute of Physics)

بالطاقة المظلمة وغيرها القليل، يصبح الحاجز الدفاعي الأخير للكون هو المادة. إننا نسلم بالاستمرارية العنيدة للمادة، بيد أن النظريات المفضلة للجسيمات الأساسية تتنبأ بأن المادة العادية ستتحلل يومًا ما.

لن يحدث ذلك عاجلًا، لن يحدث خلال تريليون عام، بل سيحدث على امتداد وقت طويل قدره مقارنة بالتريليون عام يماثل قدر التريليون عام لواحد على مليار المليار من

الثانية. ستتحلل العناصر المشعة على مدار نطاق واسع من الفترات الزمنية، وستتحلل النيوترونات الحرة خلال ١٥ دقيقة، لكن الذرات، بصورة عامة، تبدو خالدة، فما من شخص شاهد تحلل أحد البروتونات أو الإلكترونات. لمعرفة مدة بقاء البروتونات في الكون بإمكانك أن تنتظر وقتًا طويلًا للغاية وأنت تراقب بروتونًا واحدًا حتى يتفكك، أو تنتظر وقتًا أقل وأنت تراقب عددًا كبيرًا منها على أمل التقاط مثل هذا الحدث النادر. أجرى علماء الفيزياء في اليابان تجربة تُعرف باسم «سوبر كاميوكاندي»، وفيها يضع هؤلاء العلماء خزانًا كبيرًا تحت الأرض مليئًا بمياه فائقة النقاء لمشاهدة تحلل البروتونات. ولم يشاهد هؤلاء العلماء تحلل أي بروتون حتى الآن مما يؤكد أن الحد الأدنى لطول بقاء البروتون في الكون يبلغ $١٠^{٣٥}$ عام.

ما سبب ثقة العلماء الشديدة في تحلل المادة العادية في حين أنهم لم يرصدوا ذلك قط؟ في بداية نشأة الكون، كان حجم المادة العادية يزيد عن المادة المضادة بقدر ضئيل، وبعد كسر من الثانية على وقوع الانفجار العظيم أفنت المادة العادية والمادة المضادة إحداهما الأخرى، بيد أن النذر اليسير المتبقي من المادة العادية هو ما كون لنا جميع الجسيمات الموجودة في الكون اليوم والبالغ عددها $١٠^{٨٠}$ جسيم وعدد أكبر بكثير من الفوتونات. يمكن تفسير عدم التناظر الطفيف بين المادة والمادة المضادة من خلال نظريات التوحيد العظمى لقوى الطبيعة، وتلك النظريات هي التي تنبأت بتحلل البروتونات.

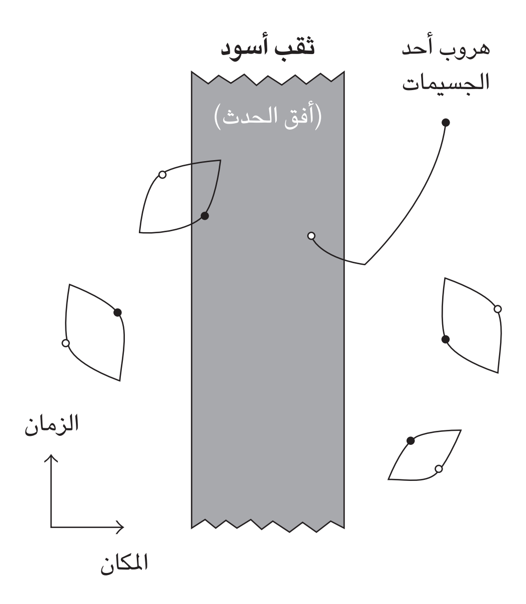
مرة أخرى نستعين بفريد آدامز كمرشد لنا لمعرفة المزيد فيما يتعلق بهذا الأمر، وهو الفيزيائي الفلكي المتعمق في دراسة الأرض الذي أفنى حياته في دراسة المادة العادية وانتظار تحللها. في المستقبل البعيد للكون، ستتحول معظم الأجرام إلى جمرات تنخفض درجة حرارتها ببطء؛ أي أقزام بيضاء. ستتحلل البروتونات إلى بوزيترونات وبيونات، ثم تفنى البوزيترونات مع الإلكترونات لتُنتج أشعة جاما، وستتحلل البيونات أيضًا إلى أشعة جاما. سينتشر هذا التدفق الضعيف من الفوتونات في جميع أرجاء القزم الأبيض مضيفًا بذلك ما قيمته ٤٠٠ واط إلى الإشعاعات المنبعثة منه. مع ذلك، لن تكون تلك الأقزام البيضاء التي تماثل في حجمها حجم كوكب الأرض وتعادل قوة إضاءتها ثلاثة مصابيح كهربائية وتبلغ درجة حرارتها عُشر الدرجة فوق الصفر المطلق بمنزلة منارات مضيئة. وجميع الأقزام البيضاء التي ستوجد في مجرة ميلكوميدا لن تساوي قوة الشمس في أوجها.

في هذه المرحلة الأخيرة من التطور، ستعود النجوم إلى بداياتها من جديد؛ لأن تلاشي البروتونات يؤدي إلى انخفاض العدد الذري للنوى في الأقزام البيضاء بالإضافة إلى خفض كتلتها الكلية. سيفقد النجم ٩٠٪ من كتلته ويتحول غاز الكربون الموجود به إلى الهيليوم وبعدها إلى الهيدروجين، مما يعيده إلى بساطة المادة التي بدأ بها.

ينتظر النجوم النيوترونية المصير نفسه. في واقع الأمر، تواجه الكواكب هذا المصير أولًا بسبب انخفاض كتلتها. ستتحول طبقة الوشاح الصخرية ولب الأرض المعدني إلى غاز الهيدروجين في فترة تُقدر بحوالي $١٠^{٣٨}$ عام، ولن تلقى الأقزام البيضاء هذا المصير إلا بعد مرور $١٠^{٣٩}$ عام. عند هذه النقطة، لن يحتوي الكون على أي نجوم، ولن يتبقى لأي شخص يأمل في تدفئة يديه بأي نوع من النيران سوى أن يلجأ إلى مصادر الجاذبية؛ أي الثقوب السوداء.

في عام ١٩٧٤، تنبأ ستيفن هوكينج بأن الثقوب السوداء ليست سوداء تمامًا، فنتيجة لتأثيرات ميكانيكية كمومية، نجد أن لتلك الثقوب درجة حرارة، وأنه ينبعث منها كمية ضئيلة من الإشعاعات. ينبعث من الثقوب السوداء النجمية كمية من الإشعاعات تبلغ $١٠^{-٢٨}$ واط فقط، وهي كمية هزيلة مقارنة بالطاقة المنخفضة المنبعثة من الأقزام البيضاء التي تتعرض لتحلل البروتونات. سوف تستغرق وقتًا هائلًا يصل إلى $١٠^{٦٥}$ عام كي تتبخر. لكن عند إنعام النظر في هذا الرقم الهائل لبرهة، سنجد أنه من غير المحتمل أن يكون ذا مغزى؛ فمع انخفاض الكتلة يزداد معدل التبخر والطاقة المنبعثة، ومن ثم سيشهد المستقبل البعيد موجة من الزوال على نحو متزامن مع اختفاء البقايا النجمية كبيرة الحجم (الشكل ١١-٦). وللتحول من كتلة توازي كتلة سيارة شحن إلى شيء عديم الكتلة، لن ينقضي أكثر من ثانية، وسينبعث من كل عملية إفناء كهذه أشعة جاما تعادل ٥ آلاف تريليون طن متري من مادة تي إن تي، وهو ما يزيد بألف مرة عن الترسانات النووية الموجودة في العالم أجمع.

أما الثقوب السوداء الأكثر ضخامة فهي نادرة، وتتبخر ببطء أكبر، ومن ثم ستكون آخر مكونات الكون التي ستتلاشى. سوف تستغرق الثقوب السوداء التي تصل كتلتها إلى مليون كتلة شمسية والموجودة في مراكز المجرات الصغيرة $١٠^{٨٣}$ عام لتختفي من الكون. لكن الثقوب السوداء التي تصل كتلتها إلى مليار كتلة شمسية والتي من المحتمل أن تبقى في مركز مجرة ميلكوميدا، فستستغرق $١٠^{٩٨}$ عام، وفي النهاية ستنبعث منها أشعة جاما بازدياد تدريجي على نحو مماثل للثقوب السوداء الأصغر حجمًا.[١٤]



شكل ١١-٦: الثقوب السوداء ليست سوداء تمامًا. ووفقًا للنظرية التي وضعها ستيفن هوكينج، عندما يتكون زوج من الجسيمات/الجسيمات المضادة بالقرب من أفق الحدث، قد يهرب أحدهما مكونًا بذلك جسيمات وفوتونات أخرى. نتيجة لذلك، تتبخر الثقوب السوداء ببطء بمعدل يتزايد مع انخفاض الكتلة. (Chris Impey)

إذا لم تكن نقطة النهاية هي تلك الأعوام البالغ عددها ١٠^٩٨ عام، فسيُعرف ذلك في وقتها. ما الأشياء الأخرى التي قد تتبقى للحديث عنها؟ بعد مرور أكثر من ١٠^١٠٠ عام، ستلاحظ أن البروتونات قد تلاشت، وأن النجوم قد تبددت، وأن الثقوب السوداء قد تبخرت. لن يتبقى سوى النيوترينوات والإلكترونات والبوزيترونات والفوتونات بطول موجي أكبر من الكون المرئي، وتكون جميع العمليات الفيزيائية في ذلك الوقت — وحتى قبل ذلك — خاضعة للطبيعة غير المؤكدة للمادة المظلمة والطاقة المظلمة.

عند هذه النقطة، لن يصيب الإرهاق فريد آدامز وحده، بل سيصيبنا نحن أيضًا — الكاتب والقراء — وكأننا انخرطنا في مشروع يستغرق الليل كله. لقد تحللت رقعتنا من الكون المتمدد المتسارع في ظل ستار من الظلام لتتحول إلى خليط متجانس من

الجسيمات والفوتونات. إن تجميع النجوم والمجرات وتفكيكها أمر ممتع، لكنه جهد لا طائل من ورائه، وستكون الإنتروبيا؛ السمة المميزة للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، هي الفائز الوحيد. ولسوء الحظ، تعد الفوضى المنتظمة عدوًّا للحياة والإبداع، لكن المشهد كان ممتعًا وقت حدوثه.

الفصل الثاني عشر

ما بعد النهايات

يرسل نيك بوستروم رسالةً مختلطةً مضبوطة بدقة. إن الاحترام الذي يحظى به كفيلسوف تحليلي لا غبار عليه؛ لذا يأخذ جمهوره ما يقوله بجدية شديدة. يصغي إليه الباحثون الكبار بانتباه في حين يسجل الصغار ملاحظات كثيرة، لكن الوميض المتلألئ بعينيه والبريق الذي يعلو ابتسامته المازحة أحيانًا يوضحان أنه يدرك سخافة موضوعه.

يقدم بوستروم ما يراه على أنه النتيجة المنطقية لاحتمالية احتواء الكون على العديد من الكائنات التي تفوقنا بقدر هائل من حيث الذكاء والتقنية. وفي ظل القوة الحاسوبية الضخمة المتاحة لهذه الثقافات يمكنها بسهولة محاكاة التاريخ الكامل لعمليات التفكير لدى الجنس البشري، وذلك يعني — ثم يتوقف بوستروم لحظة كي يضمن استحواذه على الانتباه الكامل لجمهوره — أننا نعيش بالتأكيد في محاكاة حاسوبية.

بوستروم هو واحد من جيل جديد للفلاسفة المنشغلين بشدة بالمعلومات المذهلة لعلم الفلك الحديث. مع ازدياد احتمالية أن تكون الحياة البيولوجية منتشرة في أرجاء الكون، وأن يشتمل الكون على تريليونات الأماكن المحتملة للحياة، هم يسألون عما قد تفعله الكائنات الواعية المتقدمة حقًّا. وفي ضوء نشأة الكون من حساء رغوي للزمكان، هم يذهبون إلى التخمين بوجود أكوان افتراضية وموازية. ولكونهم فلاسفة، فهم يطرحون أسئلة متعمقة عن معنى الأمر برمته، وإلى أي مدى يتصف ما نسميه بالواقع بأنه حقيقي.

منذ خمسة وعشرين قرنًا شبَّه أفلاطون البشر بساكني الكهوف الذين يتوقون لفهم الطبيعة، لكنهم محكومون فقط بما يرونه من انعكاسات للظلال على جدار

الكهف. يحب العلماء أن يعتقدوا أنهم يتعاملون مع الحقيقة، لكن هل من الممكن أن يكونوا مطاردين للظلال لا أكثر؟

مع أن بوستروم اكتسب شهرة سيئة وجذب الاهتمام الإعلامي بسبب فرضية المحاكاة التي قدمها، فمن بين أفضل أعماله وأكثرها تفصيلًا المبدأ «الإنساني». لاحظ العلماء أن عددًا من الخصائص الطبيعية للكون — بدءًا من شدة القوى الأساسية وحتى معدل التمدد نفسه — مضبوطة تمامًا بحيث تسمح بوجود الكربون والماء والنجوم والحياة، ولو أن هذه الخصائص مختلفة بقدر طفيف، فربما ظل الكون موجودًا لكنه لن يكون حيًّا.

هل أُعِدَّ الكون من أجل الحياة؟ بدلًا من أن يقفز بوستروم إلى تلك النتيجة المذهلة أخضع أفكاره الإنسانية للصرامة المنطقية والرسمية المميزة له. توصل بوستروم إلى أننا واقعون تحت تأثير مبدأ الاختيار الذاتي؛ لذا لا بد أن نكون حذرين من نسب أهمية خاصة لسمات الكون الضرورية لوجودنا، ولو أمكن للكون أن يتحدث فقد يخاطب البشر قائلًا: لا تمنحوا أنفسكم مثل هذه الأهمية.

* * *

(١) العيش في الكون المتعدد

(١-١) الضبط الدقيق

يهرع إليك عالم فيزياء بحماسة شديدة، بعدها يتوقف ليلتقط أنفاسه ثم ينطق بكلمات مبعثرة؛ يقول إنه من المذهل لو أن القوة الشديدة التي تمسك بأنوية الذرات كانت أقوى قليلًا؛ فستحول النجوم آنذاك كل الهيدروجين الموجود بداخلها بسرعة إلى هيليوم وصولًا إلى الحديد، ولو كانت أضعف قليلًا فلن تتشكل أي نوى معقدة أو كربون، ولو كانت القوة النووية الضعيفة أقوى قليلًا فقد تتحلل النيوترونات بسرعة شديدة بما يمنع النجوم من تكوين العناصر الثقيلة، أما لو كانت أضعف قليلًا فقد يجري استهلاك كل الهيدروجين.

يتوقف عالم الفيزياء برهة كي يلتقط أنفاسه فحسب وأنت تحاول أن تبتعد عنه تدريجيًّا بلطف، لكنه لم يفرغ من حديثه بعد. لو كانت القوة الكهرومغناطيسية مختلفة قليلًا في شدتها فلن تتشكل الجزيئات؛ من ثم ستكون العمليات والظواهر الكيميائية

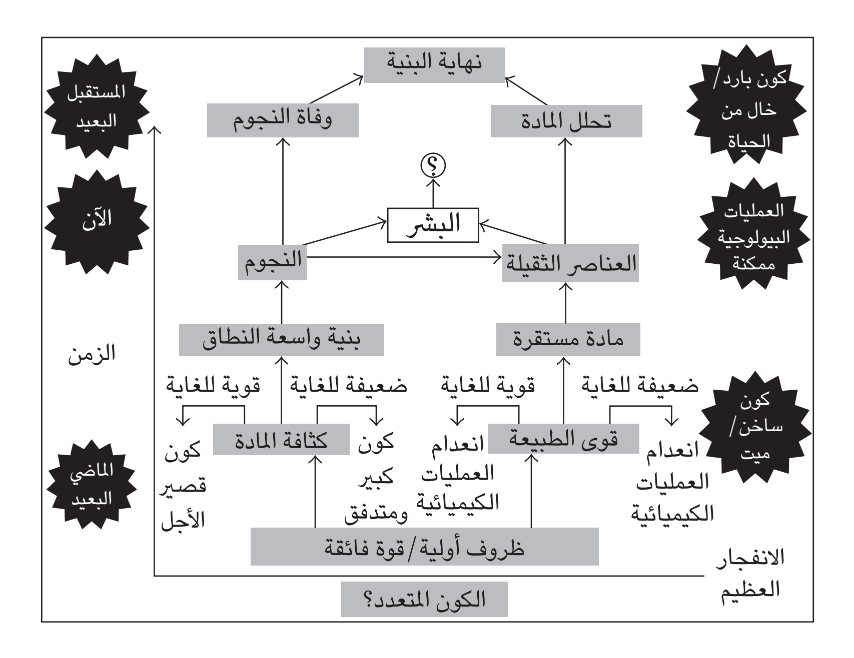
أمرًا مستحيلًا. ويواصل حديثه وهو يطلب منك أن تفكر بشأن الجاذبية. إن كانت أكثر قوة قد تعيش النجوم حيوات سريعة مستغرقةً ملايين الأعوام، لا مليارات، وإن كانت أضعف فلن تشكل النجوم العناصر الثقيلة. ثم يمسك عالم الفيزياء ذراعك بقوة ويقول لك بإلحاح: في جميع هذه الأحوال سيكون هناك كون له قوانين فيزيائية معقولة، لكن لن تكون الحياة ممكنة. ويقف العالم واضعًا يديه في وسطه منتظرًا أن تبدي رد فعلك.

هل فاجأك الأمر؟ هل ينبغي أن يفاجئك؟ تقع هذه الأسئلة في صلب جدل قوي بشأن الضبط الدقيق في مجال الفيزياء، فالفيزياء القياسية ليس بها سوى عدد قليل من المعاملات والكثير منها ينبغي أن يكون شديد القرب من قيمه التي جرت ملاحظتها حتى يسمح بوجود العمليات البيولوجية والكائنات أمثالنا.[١]

تمتد حجج الضبط الدقيق إلى علم الكونيات، فمن الناحية الفيزيائية يمكن للأكوان المقبولة ظاهريًّا أن تشتمل على المادة بقدر أكبر أو أقل بكثير من كوننا، لكن لو كان لدى الكون مادة أقل بكثير كان سيتمدد بسرعة شديدة في المرحلة الأولى، حتى إنه لن يمكن لأي نجوم أو مجرات أن تتكون من الغاز الذي يفقد حرارته. ولا شك أن الكون منعدم البنية سيكون خاليًا من الحياة. على الجانب الآخر، لو كان لدى الكون قدر أكبر بكثير من المادة لكان سيعاود الانهيار منذ وقت طويل دون أن تسنح الفرصة للنجوم بأن تكون العناصر الثقيلة وأن تأوي العمليات والظواهر البيولوجية، وربما لا يمكن لأي كون سوى كوننا الكبير طويل العمر أن يدعم المراقبين أمثالنا (الشكل ١٢-١).

يبدو الأمر مدهشًا. ليست هذه الأكوان «المخالفة للحقائق» مثارًا للسخرية؛ بل هي معقولة من الناحية الفيزيائية. إن مخالفة الحقائق البيولوجية عن طريق تخيل خنازير يمكنها الطيران ليس بالأمر المفيد فكريًّا، لأننا ينبغي أن نفكر بطريقة ملتوية من منظور كل من التطور والبيئة كي نرى كيف يمكن للخنازير أن تطور الأجنحة والقدرة على الطيران. إنه ليس أمرًا مستحيلًا لكنه ليس ممتعًا للغاية أيضًا. وفي الموقف المتعلق بدراسة الكون، نحن لم نتخلص من أفكار الفيزياء الجوهرية مثل السببية أو تحويل المادة إلى طاقة؛ كل ما هناك أننا عدلنا القوى قليلًا ووجدنا أننا حصلنا على أكوان يستحيل فيها بصورة أساسية وجود الحياة كما نعرفها.

لكن لكي يكون الضبط الدقيق مدهشًا سيكون علينا أن نوضح أن وقوع قيم الثوابت الفيزيائية ضمن نطاق صغير من قيمها الفعلية هو حدث غير محتمل. ثمة افتراض بأن الكميات الفيزيائية يمكنها أن تشغل نطاقًا ضخمًا من القيم الافتراضية،



شكل ١٢-١: تفترض حجج الضبط الدقيق وجود ارتباط مهم بين حقيقة قوى الطبيعة والنظرية الحسابية التي تفسرها من ناحية، والسمات المحددة لكوننا التي تؤدي إلى النجوم والكواكب والعمليات البيولوجية من ناحية أخرى. تتصف السمات بأنها «خاصة» لأنها تؤدي لظهور البشر، لكن ذلك لا يعني أنه ينبغي أن تكون محددة سلفًا أو مدمجة في الظروف الأولية. (Chris Impey)

وأن احتمالية أي قيمة متساوية تقريبًا على مدار ذلك النطاق. لكن هذا الافتراض نابع من العدم.

ليس الأمر مماثلًا تمامًا للضبط الدقيق، لكن مكاننا في الكون لا يدعم مبدأ كوبرنيكوس أو مبدأ عدم التميز أيضًا، فنحن ندور حول نجم عادي في مجرة عادية لكن موقفنا يبدو خاصًّا بطرق أخرى. إن معظم كيانات الكون هي فوتونات أو جسيمات مادة مظلمة، لكننا نتكون من بروتونات ونيوترونات. ومعظم الكون هو فضاء تام تقريبًا لكننا نعيش في مجرة، ومعظم كتلة المجموعة الشمسية موجودة في نجم لكننا

نعيش على كوكب صخري. وأخيرًا يتميز عمر الكون بأنه هائل، لكننا نعيش بعد مرور دهور قليلة على الانفجار العظيم. هل هذا مفاجئ أيضًا؟

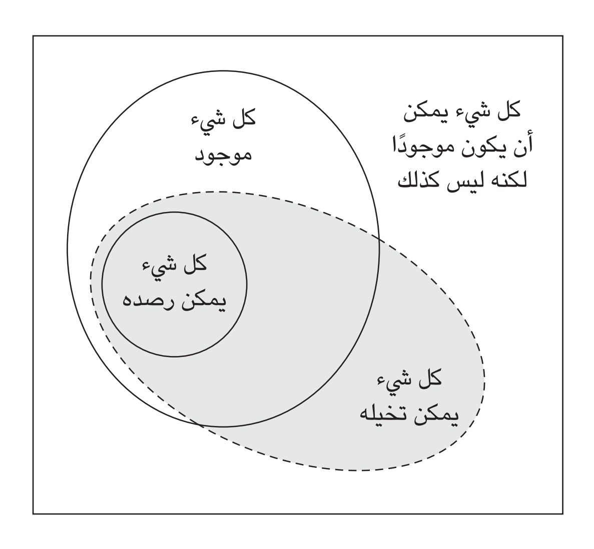
(١-٢) المبدأ الإنساني

كيف لنا أن نفسر عملية الضبط الدقيق للكون في إطار قيم الكميات الفيزيائية التي تسمح بالحياة البيولوجية في الوقت الذي قد يؤدي فيه أي انحراف طفيف ظاهري عن تلك القيم إلى جعل الكون مجدبًا؟ بعبارة أخرى، إن ما نرصده هو مجموعة فرعية صغيرة من الحقائق الممكنة، لكن معظم الحقائق المخالفة للواقع تجعل وجودنا أمرًا مستحيلًا (الشكل ١٢-٢).

أثناء مؤتمر عقد عام ١٩٧٣ للاحتفال بمرور ٥٠٠ عام على ميلاد نيكولاس كوبرنيكوس، صاغ عالم الفيزياء الفلكية براندون كارتر مصطلح «المبدأ الإنساني» للإشارة إلى الوضع المخالف لمبدأ كوبرنيكوس الذي يقضي بأننا نعيش بالفعل في موقف متميز من ناحيتَي الزمان والمكان. صاغ براندون نموذجًا قويًّا وآخر ضعيفًا للمبدأ. ترتبط الفكرة بمبدأ الضبط الدقيق لكنها أكثر إثارة للجدل، ويرجع ذلك في جزء منه إلى أنها تمد المراقبين الأذكياء بدور رئيسي في الكون وفي جزء آخر إلى وجود كم كبير للغاية من التعريفات في المؤلفات البحثية.

يذهب المبدأ الإنساني الضعيف إلى أننا لا نرصد سوى كون له خصائص تدل على وجود مراقبين أذكياء. هنا يميل الأشخاص إلى الصمت وإبداء الاندهاش حين يسمعون هذا؛ إذ إنه يبدو مثل حقيقة بديهية أو تكرار للمعنى. ويذهب النموذج القوي من المبدأ إلى أنه لا بد أن يكون للكون (والمعاملات الفيزيائية التي يعتمد عليها) قيم تسمح بتكوين المراقبين الأذكياء ووجودهم.

يصوغ الروائي والكاتب المسرحي مايكل فراين الأمر على النحو الآتي في كتابه «اللمسة الإنسانية»: «إنها هذه المفارقة البسيطة، فالكون كبير في السن وكبير في الحجم للغاية، أما الجنس البشري فهو بالمقارنة ليس سوى اضطراب ضئيل للغاية في ركن صغير واحد منه؛ اضطراب حديث للغاية، ومع ذلك فليس الكون كبيرًا في السن ولا كبيرًا في الحجم للغاية إلا لأننا هنا لنقول هذا ... لكن بالطبع جميعنا يعرف تمام المعرفة أنه على هذا الحال سواء أكنا هنا أم لا.»[٢]



شكل ١٢-٢: نحن نرصد جزءًا صغيرًا من الكون المادي تسلم به نظريتنا عن علم الكونيات، وهو بدوره جزء صغير من الاحتمالات الممكنة التي قد يكون معظمها غير مناسب لاستضافة الحياة. في الوقت نفسه يشمل التخيل (الجزء المظلل من الشكل) أشياء موجودةً لكنها لم ترصد وأشياء قد لا تكون موجودة فعلًا. (Chris Impey, based on a concept by Paul Davies, Arizona State University)

جدير بالذكر أن ثمة صورًا أكثر تطرفًا أو جراءةً من المبدأ الإنساني. نبع النموذج «التشاركي» للمبدأ من فكرة عالم الفيزياء جون ويلر التي ذهبت إلى أن التأثيرات الكمومية تنشئ رابطًا عميقًا ما بين المراقبين والحاوية الفضائية الأكبر حجمًا. في الواقع، ينشئ المراقبون الكون. وينتهي كتاب «المبدأ الإنساني الكوني» للمؤلفَين جون بارو وفرانك تيبلر بفكرة خيالية لكنها غير عملية فيما يتعلق بنقطة النهاية، النقطة أوميجا؛ حين يصل التعقيد والذكاء إلى الحد الأقصى لهما: «ستهيمن الحياة على «جميع» المادة والقوى، ليس فقط في كون واحد، بل في جميع الأكوان التي يكون وجودها ممكنًا من الناحية المنطقية. ستنتشر الحياة إلى «جميع» المناطق المكانية في جميع الأكوان التي يمكن أن تكون موجودة من الناحية المنطقية، وستخزن الحياة كمًّا لا نهاية له من

المعلومات؛ بما في ذلك «جميع» أجزاء المعرفة التي من الممكن الإلمام بها من الناحية المنطقية. وهذه هي النهاية.»[٣]

حين يكبر بالون إحدى الأفكار ويتمدد ليصير رقيقًا للغاية، يحلو للبعض ثقبه. والنموذج القوي للمبدأ الإنساني هو الأكثر إغراءً لدحضه؛ لأنه يحمل نكهة الغائية؛ وهي فكرة أن للكون غرضًا. حظي المبدأ الإنساني القوي بدعم مؤيدي مذهب الخلقوية والتصميم الذكي مستعينين بحجج لا تختلف كثيرًا عن تلك التي صاغها عالم الرياضيات والفيلسوف جوتفريد ليبنتز منذ ٣٠٠ عام: «بما أنه يوجد عدد لا متناهٍ من الأكوان الممكنة في أفكار الإله، وبما أنه لا يمكن إلا لواحد منها فقط أن يوجد، فلا بد أن هناك سببًا كافيًا يقف خلف اختيار الإله، سببًا يوجهه نحو أحدها وليس نحو سواه.»

يأتي نقد آخر من عالم المنطق، فمثلما لا يجب أن نندهش إزاء اشتمال الكون على ظروف تتوافق مع وجودنا، لا يجب أن نندهش إزاء عدم اشتماله على ظروف قد لا تتوافق مع وجودنا، مع أن تلك الظروف قد لا تنتهك نظريات فيزيائية معينة. يبدو أن المبدأ الإنساني يعكس مبدأ السبب والنتيجة. ذات مرة قارن عالم الحفريات بجامعة هارفارد ستيفن جاي جولد الادعاء أن الكون خضع للضبط الدقيق كي يناسب حياتنا بقوله إن النقانق طويلة ورفيعة حتى تتوافق مع الشطائر، أو أن السفن قد اخترعت لكي تأوي محار البرنقيل الذي يعلق بها.

بعد ذلك يأتي الدور الرئيسي الممنوح للمراقبين الأذكياء. ما الشيء المميز للغاية بشأن المراقبين الأذكياء، ولماذا يجب أن يكونوا على صورتنا؟ لا وجود لنظرية معممة عن الحياة البيولوجية تتطلب دورًا جوهريًّا للكربون أو النجوم المعمرة، وبالقطع لا وجود لنظرية عن المسارات التي تفضي إلى الذكاء. فإن كانت الحياة موجودةً في نطاق من المعاملات الفيزيائية أوسع مما نتخيله من مثالنا الوحيد، فقد لا يكون الضبط الدقيق مهمًّا كما نعتقد.

انهمك عالم الفيزياء الحاصل على جائزة نوبل ستيفن واينبرج في أفكار المبدأ الإنساني لكنه يعلم أنها ذات سمعة سيئة. يقول: «يتعرض الفيزيائي الذي يتحدث عن المبدأ الإنساني للمخاطرة نفسها التي يتعرض لها رجل الدين الذي يتحدث عن الأدب الإباحي: مهما تؤكد أنك ضده سيعتقد البعض أنك تهتم به بدرجة ما.»[٤] وعلى الرغم من الانتقادات التي وُجِّهت للمبدأ الإنساني، فقد لاقى هذا المبدأ الكثير من الاهتمام والتأييد من علماء مبجلين مثل واينبرج، وهذا لأنه يتناغم على نحو محكم مع أقصى ما توصلنا

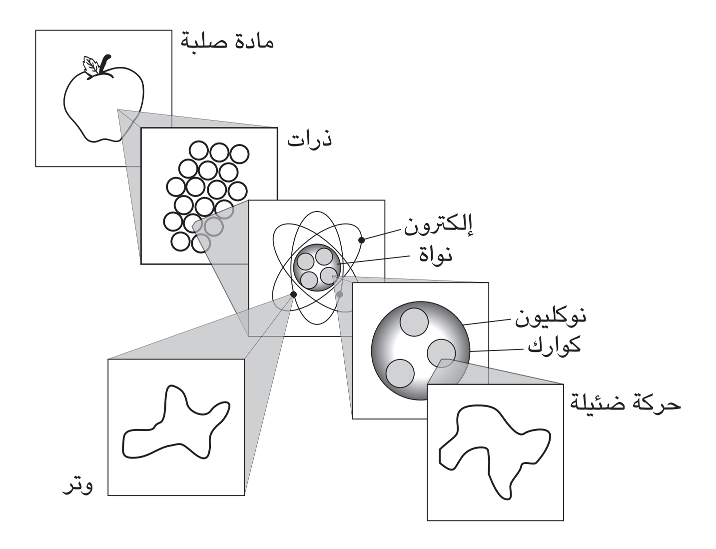
إليه من أفكار في علم الكونيات، والتي تحاول أن تخمن على نحو هادف طبيعة الزمكان فيما وراء أفقنا.

(١-٣) مرحبًا بك إلى عالم الكون المتعدد

اترك حدسك لدى الباب ونحن نستكشف «المنظر الطبيعي». نظرية الأوتار هي نظرية نهائية عن الطبيعة تهدف إلى توحيد كل القوى وكل الجسيمات في إطار عمل حسابي يضم كلًّا من ميكانيكا الكم والنسبية العامة. في معظم الصياغات، تتخذ نظرية الأوتار ١١ بعدًا مربكًا للعقل، لكنها تنطبق بالمثل على الكون الذي يحوي ثلاثة أبعاد مكانية وبعدًا واحدًا زمانيًّا. الأجسام العامة في النظرية هي الأغشية، وهي تشغل الزمكان على نحو ديناميكي في عدد اعتباطي من الأبعاد: الأغشية (٠) هي النقاط، والأغشية (١) هي الأوتار، والأغشية (٢) هي الألواح، وهكذا صعودًا إلى الأبعاد الأعلى. من شأن نظرية الأوتار أن تنتقل من كونها محض تخمين غريب إلى فكرة سائدة مقبولة فقط لو تمكنا من التحقق من الأبعاد «الإضافية»؛ إلا أن ذلك ليس ممكنًا في الوقت الحالي (الشكل ٣-١٢).

تتفق نظرية الأوتار مع علم الكونيات في نظرتيهما للفراغ، وقد يكون الفراغ هو أكثر جوانب النظرية إثارة للاهتمام. تتنبأ النظرية بعدد لا يُصدق من حالات الفراغ لها خصائص تتباين على نحو عشوائي؛ يبلغ عددها تقريبًا ١٠^٥٠٠ حالة وفقًا لآراء الخبراء. ذلك هو «المنظر الطبيعي». تذكر أنه في علم الفيزياء الحديثة لا وجود للفراغ الخاوي أبدًا؛ إذ إن الموجات الكهرومغناطيسية والجسيمات المضادة تظهر وتختفي فيه طوال الوقت. وقد نتج كوننا عن التضخم التلقائي لأحد هذه الأحداث الكمومية. مدد التضخم هذه البذرة الكمومية لحجم أكبر بكثير مما يمكننا رصده؛ لذا يبدو الكون متجانسًا وموحدًا، وقوانين الفيزياء متطابقة في كل مكان داخله.

من وجهة نظر مارتن ريس، يقدم مفهوم المنظر الطبيعي بنظرية الأوتار أساسًا لمجموعة مذهلة وربما غير محدودة من الأكوان يطلق عليها اسم الكون المتعدد. قد تكون الأكوان الأخرى كبيرة أو صغيرة، سريعة الزوال أو أبدية، حية أو ميتة، مثيرة أو مملة. إن ريس شخص رفيع المقام في مجال علم الكونيات، وهو رئيس الجمعية الفلكية الملكية بإنجلترا. يمزح اللورد ريس من لادلو — وهذا لقبه الرسمي — قائلًا إن إحدى وظائفه هي إعداد خرائط البروج للملكة. هو رجل ضئيل الحجم له عينيان رقيقتان،



شكل ١٢-٣: تفترض نظرية الأوتار وجود مستوى أعمق من الحقيقة مبني على زمكان ذي عشرة أبعاد. في النظرية التقليدية للمادة تشكل الكواركات والإلكترونات الأساس. وفي نظرية الأوتار، تتشكل الكواركات والإلكترونات والجسيمات الأخرى كافة من أوتار أحادية الأبعاد، أما الأبعاد الخفية فهي لا تتجسد إلا في مستويات الطاقة العالية للغاية. (Chris Impey)

وله طابع شخصية الواعظ القادم من جنوب إنجلترا. نبرة صوته المطمئنة تجعل الأفكار الغريبة تبدو مريحة ومعقولة. وقد كتب: «هذا المفهوم الجديد قد يماثل في تطرفه اتساع منظورنا الكوني من الأفكار السابقة لعصر كوبرنيكوس إلى إدراك أن الأرض تدور حول نجم عادي على حافة مجرة درب التبانة.»[٥]

إن العدد الهائل من الحالات الفيزيائية للأكوان المتعددة يبطل حجة الضبط الدقيق. نعم، يلتزم قانون الفيزياء إلى حد بعيد بما يبدو ضروريًّا للحياة، والطاقة المظلمة صغيرة للغاية على نحو غير سوي، لكن مع وجود حالات الفراغ البالغ عددها $١٠^{٥٠٠}$، ليس من المستبعد أن يكون للكون الخصائص التي نراها. إننا نعيش بصورة طبيعية في أحد الأكوان الصالحة للحياة؛ وتوجد الأكوان العديدة غير القابلة للحياة في مكان آخر من المنظر الطبيعي لنظرية الأوتار، ونحن نعجز عن رصدها.

قد يمتلئ المنظر الطبيعي بمناطق مختلفة من الفضاء، كما في نظرية التضخم العشوائي التي وضعها آندري ليند، عالم الفيزياء بجامعة ستانفورد، التي وفقها تظهر فقاعات الزمكان وتختفي على نحو لا نهاية له، أو ربما تكون عهودًا زمانيةً مختلفةً في انفجار كوني واحد، أو ربما تتشكل فقاعات من الزمكان داخل فقاعات أخرى، في صورة متوالية لا نهاية لها. انتقد البعض نظرية الكون المتعدد لعدم إصدارها تنبؤات دقيقة على نحو كافٍ، لكن ستيفن واينبرج يعترض على ذلك قائلًا: «ليس محك النظرية الفيزيائية هو أن «كل شيء» فيها قابل للملاحظة، وأن «كل» تنبؤ تقدمه قابل للاختبار، بل إن قدرًا كافيًا منها قابل للملاحظة، وأن عددًا كافيًا من التنبؤات قابل للاختبار كي يمنحنا الثقة بأن النظرية صحيحة.»[٦] لا يزال أمام نظرية الكون المتعدد شوط طويل، لكن قلة من الأشخاص هم مَن يؤمنون بصحتها تمامًا.

في ندوة عن الكون المتعدد أقيمت بجامعة ستانفورد عام ٢٠٠٣، قدم ريس خطابًا عامًّا بمشاركة بول ديفيز من جامعة ولاية أريزونا وآندري ليند من جامعة ستانفورد. وفي نهاية الندوة سألهم أحد الحضور عما هم مستعدون للمراهنة به على صحة نظرية الكون المتعدد. حينئذ استرجع ريس في ذهنه عالم فيزياء كان قد سئل عما إذا كان سيراهن بسمكته الذهبية أو كلبه أو ابنه ليثبت أن نظريته صحيحة، ثم قال: «أراهن بكلبي أن هناك أكوانًا متعددة.»[٧] وافق ديفيز قائلًا: «وأنا أيضًا، إن كان الأمر على مستوى الكلاب، أما المستوى الأعلى فهو مستوى حسابَيْ صرف.» آخر من أجاب كان ليند، الذي أثار رده ضحكات كثيرة من الحضور، وقال: «أراهن بحياتي!» بعد مرور عامين، وفي مؤتمر أقيم في جامعة كامبريدج ضاعف ستيفن واينبرج الرهان قائلًا: «لدي ثقة في الكون المتعدد تكفي لأن أراهن بحياة كل من آندري ليند وكلب مارتن ريس.»

(٢) من النهايات إلى المعنى

(٢-١) شفق لا نهاية له

ترك المبدأ الإنساني الباب مفتوحًا جزئيًّا أمام الفكرة المثيرة التي تقضي بأن الكون تشكَّل حتى يستضيف الحياة. في سياق نظرية الأوتار والكون المتعدد ثمة مساحات كبيرة على نحو لا يمكن تخيله من الزمكان والتنوع الفيزيائي، ونحن نشغل واحدًا من الأكوان النادرة «المثيرة للاهتمام» لأن التعقيد أدى إلى الحياة البيولوجية والوعي.

ما يجعل هذا الكون جديرًا بالانتباه هو حقيقة أنه أوجد نوعًا واحدًا (على الأقل) من الكائنات يستطيع أن يفكر في وجوده ضمن تركيبة الكون. لدى الأكوان العديدة الأخرى قصص تحكيها، لكن ربما ليس هناك من يحكيها، وهي محل اهتمامنا من منظور أكاديمي بحت، شأنها شأن الصخور المحفوظة في متحف للمعادن.

دعنا نستكشف القيود الجوهرية للحياة في الكون بدءًا من رقعة الزمكان التي نعيش فيها ثم نتوسع إلى حيز الزمكان الإجمالي للكون المتعدد. كتب عالم الفيزياء فريمان دايسون عام ١٩٧٩ بحثًا مؤثرًا بعنوان «زمن بلا نهاية: الفيزياء والأحياء في كون مفتوح».[٨] دايسون هو شخص كثير الرؤى كتب بصورة واسعة عن السفر بين النجوم ومستعمرات الفضاء، وتأثر برواية «صانع النجوم» للروائي أولاف ستابلدون وروايات الخيال العلمي الأخرى. هو أيضًا من المؤيدين المخلصين لنزع الأسلحة النووية. يقر دايسون بعدم نجاحه في مساعيه دائمًا ويقول: «من الأفضل أن تكون مخطئًا عن أن تكون غامضًا.»

حلل دايسون الطبيعة المظلمة والباردة لكون يمتد لما لا نهاية، وتوصل إلى نتيجة متفائلة مفاجئة؛ لقد عرَّف المقياس الديناميكي الحراري للمعلومات المدرجة في الكائن الحي المعقد ووجد أنه يبلغ $١٠^{٢٣}$ بت من المعلومات، أي $١٠^{٣٣}$ بت من المعلومات لكل البشر على الكوكب. نحن مبذرون في استخدامنا للطاقة؛ فنحن نهدرها ونطلقها كأشعة في الفضاء كما لو كانت موردًا لا نهاية له. لكن في المستقبل البعيد حين تكون كل النجوم ميتة ويتجه الفضاء نحو البرودة المطلقة ستضطر الحياة للاقتصاد في استخدام الطاقة. وذلك قد يحدث بطريقتين: الأولى هي عن طريق مطابقة الأيض لدرجة الحرارة المنخفضة، والأخرى هي عن طريق اللجوء إلى السبات الشتوي في دورات طويلة على نحو متزايد. نحن ننام ثلث حياتنا ولا نندم على ذلك، وستظل الكائنات في المستقبل البعيد مستيقظةً فترات أقل.

في ضوء تلك الاستراتيجية، أوضح دايسون أن الطاقة المكافئة لثماني ساعات من ضوء الشمس فقط يمكنها أن تبقي على حضارة إنسانية إلى الأبد. وهو يعتقد أن الحياة المستقبلية لن تكون حياة بيولوجية «رطبة» بل ستكون سحبًا غازية ما بين النجوم. كان هذا هو التشبيه الغريب الذي استخدمه سير فريد هويل في رواية الخيال العلمي التي كتبها بعنوان «السحابة السوداء»، لكن دايسون أخذها على محمل الجد الشديد قائلًا: «شبكة دائمة التوسع من جسيمات الغبار المشحونة تتواصل فيما بينها عن طريق

القوى الكهرومغناطيسية، ولها جميع خصائص التعقيد المطلوبة للتفكير في عدد لانهائي من الأفكار الجديدة.»

ما الذي ستفعله هذه الكيانات الغريبة بلحظات يقظتها النادرة على نحو متزايد؟ يعد الترفيه أمرًا صعبًا وتافهًا في مثل هذا الكون البارد والمظلم. ربما يكون الجنس أمرًا مستحيلًا لسحابة غازية. ذلك لا يدع مجالًا إلا للتفكير الخالص. يمكنها أن تفكر بعمق بشأن كل التحركات الممكنة في لعبة الشطرنج التي تستغرق كل حركة منها تريليون عام، ثم يظل لديها وقت متبقٍّ. إن عقول القردة المتململة التي نتصف بها تجعل الصبر فضيلة نادرة، لكنه سيكون ضرورة في المستقبل البعيد.

لفترة زمنية قصيرة كان هذا السيناريو المتفائل إلى حدٍّ ما محل شك، وقد خاض دايسون جدالًا فنيًّا ومتخصصًا مع اثنين من علماء الفيزياء اللذين ادعيا أن وصفته للحياة غير المتناهية ليست مجدية. رحب دايسون بالتحدي قائلًا: «أن يعارض الآخرون صحة ما تقوله أمر أكثر إمتاعًا بكثير من أن يتجاهلوه.» ذهبت حجتهما إلى أن أي نظام مادي يخزن المعلومات يتمتع بحد أدنى ثابت من الطاقة وتفصل فجوة بينه وبين حد حالة الطاقة التالية. وبمجرد أن تصير درجة الحرارة منخفضة للغاية لا يمكن للنظام أن يمتص الطاقة ويبعثها؛ لذا لا يمكنه تخزين المعلومات. قَبِل دايسون هذه الحجة لكنه قال إنها لا تنطبق إلا على الحياة الرقمية. إن كانت الحياة تناظرية، كما في سحابته السوداء الأثيرة أو كما في الحياة البيولوجية المألوفة، يمكنها أن تستمر عن طريق ازدياد حجمها.

يبدو مصير رقعتنا من الزمكان واضحًا إن ظلت الطاقة المظلمة تملي أوامرها بشأن التمدد، لكن ماذا عن البناء الأكبر؟ يوفر التضخم إطار عمل لفرضية الكون المتعدد، لكن ما من تنبؤات يمكنها اختبار الفكرة. تشمل جوانب التضخم الضبط الدقيق، وتظل قوة الطاقة المظلمة أحد ألغاز النموذج. ولهذا يواصل المنظِّرون البحث عن طريقة أنيقة لتفسير الكون.

في عام ٢٠٠١ جذب عالما الفيزياء بول شتاينهارت من جامعة برنستون ونيل توروك من جامعة كامبريدج الانتباه بنظريتهما الدورية عن الكون، التي تعكس أصداء الأساطير القديمة والفلسفة بذهابها إلى أن الزمان والمكان موجودان بشكل أبدي. تذهب النظرية إلى أن الكون يمر بدورات لانهائية من التمدد والانكماش مع مرور تريليونات الأعوام من التطور فيما بينها. تتجنب هذه النظرية مشكلات نقطة التفرد الأولية —

درجة حرارتها وكثافتها اللانهائية — ولا تحتاج إلى التضخم لأن انسجام الكون واستواءه نتجا عن الأحداث التي سبقت الانفجار العظيم الأحدث.[٩]

يستخدم شتاينهارت وتوروك نموذجًا من نظرية الأوتار يحمل اسم «النظرية إم» يكون فيها الكون غشاء ثلاثي الأبعاد يوجد ويتحرك مع الأغشية الأخرى في فضاء ذي أبعاد أعلى. حين تتصادم الأغشية يحدث انفجار من الطاقة نستشعره على هيئة الانفجار العظيم وكون متمدد. بعد التبدد والانقباض يتصل الغشاءان في النهاية مرة أخرى ليولدا انفجارًا عظيمًا جديدًا ودورة تمدد جديدة. ولأن علم الكونيات علم ناضج، لا بد لنظرية الكون الدورية أن تفسر عددًا كبيرًا من الملاحظات كي تؤخذ على محمل الجد. وحقل التجارب الحاسم سيكون موجات الجاذبية. يتنبأ نموذج الانفجار العظيم القياسي بأن التضخم غمر الفضاء بموجات الجاذبية ولا ينتج تصادم الأغشية موجات جاذبية. وسترد الملاحظات الحاسمة من القمر الصناعي «بلانك» وتجارب موجات الجاذبية القادمة.

(٢-٢) مساحة بالأسفل

من الصعب أن نتخيل ما يمكن للأنواع الذكية الموجودة بعيدًا عنا أن تفعله بإمكانياتها سواء أكان ذلك في حيز المكان أم حيز الزمان. في النهاية، نحن نتصف بصغر السن والافتقار إلى النضج. وفي إطار النقاش عن المستقبل، نحن بعيدون تمامًا حتى عن بلوغ مرتبة الحضارة من النوع الأول (١)؛ لأننا لا نستخدم سوى واحد على مليون من الطاقة التي تتساقط على كوكبنا. يمكنك أن تطلق علينا النوع صفر (٠)؛ إذ إننا موجودون بالكاد على شاشة رادار التعقيد. أما الوثبة التالية فتتمثل في معامل قيمته مليار، وبها يجري استغلال كل طاقة أحد النجوم، وهذه هي الحضارة من النوع الثاني (٢). فيما وراء ذلك، يمكن للحضارة من النوع الثالث (٣) أن تستغل طاقة مجرة كاملة. لا شك أن مثل تلك الأنواع ستتعامل مع حيز الزمكان على أنه ملعب ضخم، وأن تنهمك في استكشاف الثقوب الدودية وتشكيل أكوان جديدة بالطريقة التي نقود بها السيارات ونبني بها المنازل.

إن بدا ذلك خياليًّا للغاية، ففكر في هذا التشبيه: نحن لم نتطور من كائنات أحادية الخلايا إلا منذ مليار عام، أما صور الحياة المعقدة في الأجزاء الأخرى من الكون، فيمكن أن تكون قد سبقتنا بنحو ١٠ مليارات عام. إن مكانتها بالنسبة لنا قد تكون مماثلة لمكانتنا بالنسبة للبكتيريا اللاهوائية؛ مضروبة في عشرة.

مع كل المسارات المحتملة للحياة في الكون، يستحق الأمر أن ننظر فيما وراء الاستراتيجية «الكبيرة والبطيئة» التي أوضحها دايسون. يتصف أي تشبيه للمكونات البيولوجية بأجهزة الكمبيوتر بأنه معيب، لكن هذه التشبيهات تجعلنا قادرين على تفهم هل توجد «مساحة بالأسفل» أم لا فيما يتعلق بصور الحياة الصغيرة السريعة التي تتلاءم على نحو أفضل داخل الزمن الكوني المتاح.

تحزم خلايانا الكثير من المعلومات في حزمة طولها ١ / ١٠٠ ملليمتر؛ إذ يجري تخزين جيجابايت من المعلومات في أبجدية الجينوم المكونة من أربعة أحرف، ويجري تخزين جيجابايتات عديدة أخرى من الذاكرة في شكل ملايين الجزيئات الحيوية التي تنفذ وظائف الخلايا. يعادل ذلك وضع محتوى قرص فيديو رقمي في حاوية تماثل في حجمها ذرة الغبار، أو ما يساوي $١٠^{١٦}$ بت لكل ملليمتر مكعب. يحتوي المخ على $١٠^{١١}$ خلية عصبية و$١٠^{١٤}$ نقطة تشابك عصبي في حزمة قطرها ١٢٠٠ سنتيمتر مكعب. يقدر هانز مورافيك — الباحث في علم الروبوتات بجامعة كارنيجي ميلون — قوة المعالجة البشرية بنحو ١٠٠ تريليون عملية في الثانية والذاكرة بنحو $١٠^{١٥}$ بت. ذلك لا يعادل سوى مليون بت لكل ملليمتر مكعب، ومع ذلك يعمل المخ في موازاة هائلة تتفوق على أفضل ما لدينا من حاسبات عملاقة.

قد تتحسن الحياة البيولوجية على الأرض بمرور مليارات الأعوام من التطور، ربما تؤدي المنافسة والعوامل البيئية المحفزة إلى قوة معالجة وسرعة أكبر، لكن ذلك ليس إلا تخمينًا صرفًا. إن خضعت الكائنات الموجودة هنا أو على سطح أي كوكب آخر لما سماه راي كرزويل بالتفرد، وصارت مخلوقات متميزة بيولوجيًّا، فقد تكون المكاسب رائعة. قد يتيح استمرار تكنولوجيا الحالة الصلبة الحالية مكاسب في السرعة تقدر بمعامل قيمته مليون نيوترون، بالإضافة إلى معامل آخر قيمته ١٠ آلاف وصولًا إلى حد السليكون. كتب سيث لويد، الأستاذ بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، الذي يشير إلى نفسه بأنه «ميكانيكي كمومي»، عن الحدود الفيزيائية النهائية للحوسبة.[١٠] يمكن لحاسوب واحد محسَّن يزن كيلوجرامًا ومكوَّن من مادة عادية، يطلق عليه لويد اسم الحاسوب المحمول «النهائي»، أن يعالج المعلومات بسرعة $١٠^{٤١}$ عملية في الثانية ويخزن $١٠^{٣١}$ بت.

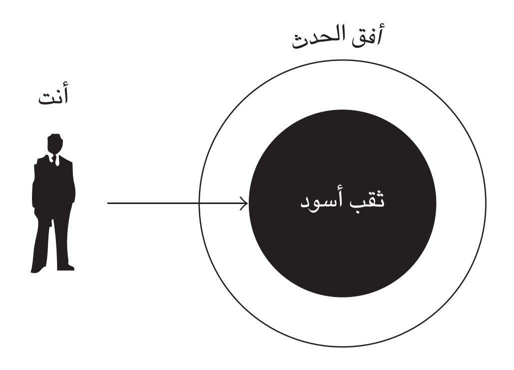
يعادل المكسب في كثافة تخزين المعلومات بالحياة البيولوجية معاملًا قيمته مليار، وهو يرد من تخزين المعلومات في حالات طاقة الذرات الفردية بدلًا من تخزين المعلومات في أشكال الجزيئات، ومع ذلك سيكون المكسب في السرعة معاملًا هائلًا قيمته $١٠^{٢٧}$! إن

كان بإمكاننا أو بإمكان أي نوع آخر أن يحول وظائف المخ إلى سليكون فسنستطيع إدراك هذه الإمكانية. إن استغرقت عملياتك الضريبية ١٠^{-٢١} ثانية بدلًا من أسبوع، ففكر في قدر الوقت المتاح لك لتتناول أفكارًا أعظم. إن السبيل الوحيد لمواجهة الكون المتزايد السرعة هو زيادة سرعة أمخاخنا.

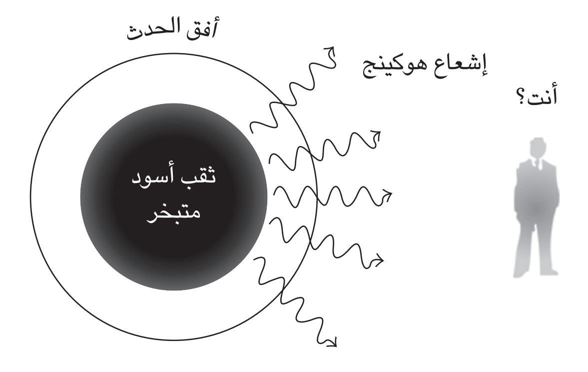
لقد اختزلنا الحياة ضمنيًّا في عالم الحوسبة. والحد الأساسي للحوسبة تقرره سرعة تغيرات الطاقة في ميكانيكا الكم. ولو انتقلنا لما وراء المادة العادية، فإن أفضل شكل لتخزين المعلومات يحدث داخل الثقب الأسود، الذي يطلق عليه اسم حد كثافة المعلومات، فالثقب الأسود الذي له الكتلة نفسها التي للحاسوب المحمول النهائي السابق الذكر سيعمل بسرعة أكبر بمقدار ١٠ مليارات مرة. هذا كله يبدو كخيال علمي مجنون حتى تدرك أننا سنصل إلى هذا في غضون ٢٠٠ عام أخرى وفق قانون مور.

إن اعتقدت أن الثقب الأسود بؤرة يأس لا يفر منها أي شيء، فاعلم أنه يوجد أمل يحدونا. تجسِّد الثقوب السوداء مفارقة معلوماتية لأنه أيًّا كانت المادة التي تدخل في أغوارها — الجوارب والأشخاص والموسوعات — فهي تبدو بالشكل نفسه (الشكل ١٢-٤). ويرجع جزء من المشكلة إلى الطاقة الإشعاعية التي تنبأ بها هوكينج، فالمعلومات ليس لها بنية، ومن ثم فهي تبدو وكأنها فقدت. في عام ١٩٩٧، راهن جون بريسكل الأستاذ بمعهد كالتيك (معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا) هوكينج بأنه مخطئ، وفي عام ٢٠٠٥ أقر هوكينج بخسارته للرهان بعد أن توصل إلى أن التأثيرات الكمومية بالقرب من أفق الحدث يمكنها أن تسمح للمعلومات بالفرار. لقد اتضح أن الثقوب السوداء يمكنها تخزين المعلومات ومعالجتها.

هل هذا هو الحل النهائي؟ منذ وقت طويل وهناك شك في أن الثقوب السوداء تفضي إلى الخلود؛ لأنه عند النظر من بعيد يبطئ مسار الوقت دون أي قيد مع الاقتراب من أفق الحدث. ستحتاج إلى البحث عن ثقب أسود كتلته أكبر من كتلة الشمس بمليون مرة على الأقل؛ لأن أي قوى مدية أصغر قد تمزقك إربًا عند سقوطك فيها. ومن منظور من يشاهدون الثقب، ستنخفض سرعتك مع اقترابك من الأفق إلى أن تصل إلى لحظة متجمدة، وهكذا تظل شابًّا إلى الأبد. إنه نصر ذو ثمن باهظ؛ لأنك ستسقط في الثقب الأسود نحو مستقبل غير مؤكد. ليس معروفًا هل ستخضع للتفكيك ثم يقذف بك في إشعاع هوكينج، ثم يلفظك ثقب أبيض في جزء آخر من هذا الكون أو في كون آخر؛ أم تفنى داخل نقطة التفرد. فكر في الثقب الأسود كملاذ أخير.



بعد ذلك بوقت كثير جدًّا



شكل ١٢-٤: تجسد الثقوب السوداء مفارقة معلوماتية؛ لأن أي شيء يتساقط داخلها لا يفعل أي شيء سوى أن يضيف إلى كتلتها، وكل معلوماته الدقيقة أو بنيته تتحول فيما بعد إلى طاقة إشعاعية محضة. لكن إن كانت المعلومات تخرج بالفعل على صورة إشعاع هوكينج، فليس واضحًا كيف يمكن لتلك الطاقة الإشعاعية منعدمة البنية أن تمثل حقًّا الشخص الذي فقد. (Scott Aaronson, Massachusetts Institute of Technology)

(٢-٣) تعرف على عمليات المحاكاة

قبل أن نتطرق للنتائج الفلكية وغير المحتملة، تناولنا احتمالات الموت إثر عوامل دنيوية لكنها محتملة، كالمرض أو الحوادث. وضع بعض العلماء احتمالات عالية بالمثل على الفرضية التي تذهب إلى أننا نعيش داخل محاكاة حاسوبية.

نيك بوستروم هو أبرز من قدم هذه الفكرة؛ لذا يستحق الأمر أن نضع في اعتبارنا ما يتصف به من مزيج مزعج يجمع ما بين عدم الاكتراث الساخر المميز للسويديين والجدية الشديدة. يدير بوستروم أحد بيوت الخبرة في أكسفورد، ويعمل أيضًا فنانًا كوميديًّا مسرحيًّا في نوادي لندن. يبدأ بوستروم بالافتراض بفكرة استقلال الركيزة؛ التي تقضي بأنه لو كانت جميع الخصائص المادية للمخ جرى تجسيدها عن طريق أجهزة الكمبيوتر، فستكون النتيجة هي الوعي. وبعد ذلك يقدر بوستروم عدد عمليات الكمبيوتر المطلوبة لمحاكاة تاريخ كل عمليات التفكير لدى كل شخص عاش على الإطلاق. وذلك الرقم يجب أن يتضمن البيئة لكن ضمن احتمالات ملائمة؛ أي بيئتنا المباشرة المحيطة بنا وكل الأشياء التي نتعامل معها يوميًّا بالتفصيل، لكن مع استبعاد سماء الليل عند مستوى التفصيل المرتبط بأكبر التليسكوبات حجمًا والجزء الداخلي للأرض والتفاصيل المجهرية. وتقديره المتحفظ للعمليات هو 10^{36} عملية، وحتى لو كان هذا التقدير غير دقيق بمقدار عدد قليل من القيم الأسية، يظل هذا الرقم المفترض كبيرًا.

يطلق على هذه الفكرة اسم محاكاة الأسلاف، وليس القيام بها على قدر شديد من الصعوبة. سنتمكن من إجراء هذه المحاكاة خلال ٥٠ عامًا أخرى من قانون مور، ويمكن للحاسوب المحمول النهائي الذي وصفه سيث لويد أن ينتج كل ثانية ١٠٠ ألف حضارة جرت محاكاتها. وما لم نكن أول حضارة تقترب من هذا المستوى من التعقيد التكنولوجي وتصل إليه، فإن حضارات أخرى قد أوجدت بالفعل مخلوقات جرت محاكاتها تشبهنا (أو لا تشبهنا). ولأن الأمر لا يستهلك سوى جزء يسير من مواردها لإجراء أعداد هائلة من عمليات المحاكاة، فينبغي أن تصل حضارات قليلة إلى تلك النقطة قبل أن يزيد عدد الأسلاف الذين جرت محاكاتهم بصورة هائلة عن الأسلاف الحقيقيين. ووفقًا لمبدأ كوبرنيكوس، من المحتمل للغاية أننا مجرد محاكاة.

مرحبًا بك في عالم المصفوفة (ذي ماتريكس)، لكن دون ذلك الجزء الذي يجري فيه وضع أجساد بشر حقيقيين في حضانات لاستخدامها كبطاريات. في فرضية المحاكاة، لن يكون لك جسد؛ فالجسد والمخ هما وليدا برنامج كمبيوتر خاص بشخص آخر. وهنا

يحدث رفض مفاجئ لا إرادي للفكرة. لا شك أنني إنسان حقيقي! من الطبيعي أن يفكر الناس جميعًا بتلك الطريقة، لكنهم جميعًا مخطئون. قد لا يكون هناك سوى «عيوب بسيطة» في المحاكاة أو لمحات من الحقيقة لو كان ذلك هو ما تريده أجهزة المحاكاة.

من الناحية المنطقية، ثمة خياران فقط مرتبطان بالنتيجة التي تذهب إلى أننا نعيش في عملية محاكاة؛ الخيار الأول هو أن الحضارات تخضع للتدمير الذاتي قبل الوصول إلى النقطة التي يمكنها عندها أن تجري عمليات محاكاة لأسلافها. ذلك خبر سيئ؛ لأنها قد تكون نتيجة محتملة لنا أيضًا. ولا بد أن تلك العقبة قوية بحق؛ فالحضارات القليلة التي تستطيع اجتيازها يمكنها أن تغمر الوجود بعمليات المحاكاة. أما الخيار الآخر فهو أن الحضارات المتقدمة تختار عدم إجراء عمليات المحاكاة، وربما يرجع ذلك لمخاوف أخلاقية تنتابها، أو لأنها متقدمة للغاية على نحو يجعلها لا تأبه لمثل تلك الألعاب. يستلزم ذلك اتفاقًا استثنائيًّا في دوافع الكائنات الذكية المختلفة، وذلك يناقض تجربتنا؛ لأننا نعيد عمليات الإنشاء على نحو متزايد في العوالم القائمة على أجهزة الكمبيوتر (الشكل ١٢-٥).

العيش داخل عملية محاكاة يحل بعض القضايا الراسخة، فليس الشر صنيعة يد خالق تشوبه بعض النقائص على نحو يثير التناقض، بل أضافته أجهزة المحاكاة لإضفاء الحيوية على اللعبة. والحياة بعد الموت وتجارب الظواهر الخارقة للطبيعة هي «سمات»، ولا ضرورة لتفسيرها على يد علماء متشككين. والإرادة الحرة هي وهم مريح ومقنع، والخوف من الموت يُبقي على الأشخاص منهمكين في المحاكاة. وحتى لو كنت مقتنعًا بأنه جرت محاكاتك، فإن دقة التركيب الإجمالي الذي توجد فيه تعني أنه ليس لديك سبب قوي يدفعك لتغيير سلوكك أو نظرتك المستقبلية. وإن كان قد جرى محاكاتك، فليس من المستبعد أن يكون خالقوك قد جرت محاكاتهم أيضًا، وأن يكون خالقوهم قد جرت محاكاتهم أيضًا وهكذا. لا أحد يعلم عدد مستويات «الواقع» الذي قد يكون موجودًا.

(٢-٤) مقطوعة الوحدة الذاتية

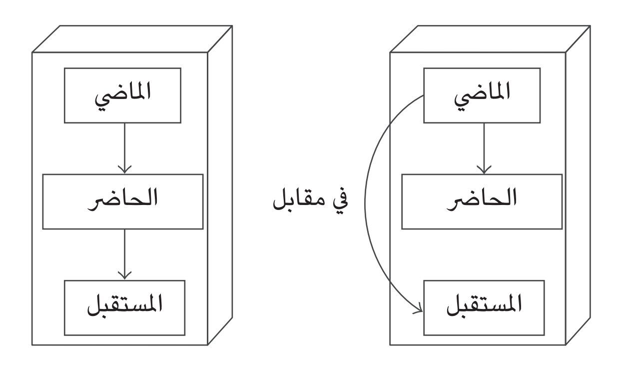
في ظل فرضية المحاكاة، نحن في خطر الوقوع في هوة «الوحدة الذاتية»، فلو لم يكن أي شيء حقيقيًّا، أو إن كانت أفكارنا فقط هي الحقيقية، فنحن منعزلون إذن عن الكون. سيكون في هذا خسارة عظيمة؛ لأن الإلمام بالكون الذي نشكل جزءًا صغيرًا منه يعد أحد أعظم انتصاراتنا.



شكل ١٢-٥: كوزمو بريستمان — الشخصية الافتراضية (أفاتار) للمؤلف — وهو يجوب متمهلًا في «جنة عدن» افتراضية أطلق عليها اسم «سفارجا» في عالم «الحياة الثانية» الافتراضي ثلاثي الأبعاد. تقترن الواقعية المرئية بالقدرة على التواصل بالصوت مع الشخصيات الافتراضية الأخرى. اعتبر هذا التجسيد مجرد خطوة أولى ثم حاول أن تتخيل ما قد يكون ممكنًا بعد مئات أو آلاف الأعوام من التطور. (Chris Impey and Linden Labs/Second Life)

تبرز قصة النهايات الكونية العلمَ في أقوى صوره؛ إذ تطرح أعظم الأسئلة وتستغل كل الآليات وتربط النظرية وقوة العقل بالمهمة. وهي تبرز أيضًا أكبر مواضع عدم اليقين بالعلم، فإن كان يمكن استخدام الفيزياء للتنبؤ بالحالة المستقبلية للكون وكل شيء داخله، فإن إرادتنا الحرة أكبر وَهْم على الإطلاق (الشكل ١٢-٦). لكن ما من سبيل لفحص الكون والتنقيب داخله كما يمكننا عمل ذلك مع شيء ما في المعمل، علاوةً على أن معظمه ليس مرئيًّا لنا. وقد علَّق الفيزيائي الروسي ليف لانداو على هذا بتهكم قائلًا: «كثيرًا ما يخطئ العلماء المعنيون بدراسة الكون لكنهم لا يقعون قط في براثن الشك.» وهذا الفصل الختامي من الكتاب يحمل ضمنيًّا العبارة التي يشعر البعض بضرورة وضعها على أبواب جميع الكنائس: الأمر مهم، فقط لو أنه حقيقي.

كعالم فلك، أرصد بصورة روتينية أشياء تجعلني أشعر بالضآلة سواء على مستوى الزمان أو المكان، لكنني في النهاية لم أكن أطيل التفكير كثيرًا في الكون، فعلى أي حال، لا يطيل من يسيرون على أحبال مشدودة التفكير في ضعفهم أمام الجاذبية. وفي لحظة غير



شكل ١٢-٦: يرد الحاضر من الماضي، ويتجه إلى مستقبل غير مؤكد (الشكل الأيسر)، ولو تحققت أكثر خطط العلم طموحًا، فسيمكننا التنبؤ بالمستقبل من قياساتنا للماضي (الشكل الأيمن)، لكن لا يمكن استخدام الظواهر الحقيقية المباشرة من أجل الاستدلال على سلاسل متواصلة من العلاقات السببية فيما وراء حيزَي الزمان والمكان الخاصَّين بنا. ولو أمكننا التنبؤ بالحالة الدقيقة للكون الحالي من الحالة الأولية، فسيمكننا التنبؤ بالحالة المستقبلية بيقين. (Chris Impey)

معتادة الحدوث مرت بي منذ عدة سنوات، صرت مدركًا لحجم الكون وما أتصف به من ضآلة على مستوَيَي الزمان والمكان؛ كنت في عطلة على شاطئ الكاريبي، مستلقيًا على ظهري في المياه الضحلة، وقد شعرت أخيرًا بالاسترخاء في اليوم الثالث من عطلة ستدوم أسبوعين. كانت الشمس تغرب خلف رأسي والمياه من حولي دافئة والأمواج الصغيرة تلطمني في رفق.

بينما انزلقت الشمس خلف الأفق كعملة معدنية تنسلُّ في جيب خلفي، أدركت أن دوران الأرض يوجهني نحو النجوم الناشئة وظلام الفضاء، وبينما كان جسدي ممددًا ويداي منبسطتين وقدماي متباعدتين، شعرت بأن الكوكب ينحني مبتعدًا عني في كل اتجاه. كان ذلك صادمًا. فبينما كنت عاريًا تقريبًا وسط مياه تشبه مياه الرحم، دُفع بي في الكون ومررت سريعًا بالحدود المألوفة للمجموعة الشمسية، وخرجت وسط المجالات المغناطيسية للنجوم وسحب الغاز المتوهجة للمجرة، ثم صرت في الفضاء العميق ومررت بمجرات دولاب النار ودقائق النسيج الكوني إلى أن وصلتُ للحدود القصوى لرؤيتي،

حينئذ شلَّني إحساس قوي بالمهابة، لكن اللحظة انقضت على الفور، ورجعت إلى بيئتي المألوفة، واستكان الكون في رأسي، ثم بزغ البدر من بين قدمَيَّ كقطرة من اللبن.

سينتهي لقاؤنا الشخصي بالكون، لكن لنقل إننا مقتنعون بالحجة التي تذهب إلى أن الوعي ليس صفةً فريدةً في نوعها لهذا الكوكب. لنتخيل أن البشر لديهم أكثر من اهتمام أكاديمي بشأن تقدم الوعي ومصيره في كل مكان آخر، وأن ثمة صلة تربط هذا بذلك الصخب الذي نسميه الحياة.

لقد صيغت معادلة دريك من أجل تطبيقها على مجرة درب التبانة، لكن الكون المرئي يحتوي على ٥٠ مليار مجرة؛ لذا سيكون التقدير الكوني كالتالي: ن = $١٠^{١١}$ط. من المحتمل أن يكون الكون مكتظًّا بالحياة الذكية. وإن كان الطور التكنولوجي يمر سريعًا في معظم صور الحياة الذكية، فلا يزال ذلك يخلف صفًّا طويلًا من الحضارات المعمرة التي تكون المسافة ما بين المجرات بالنسبة لها أمرًا يمكن التغلب عليه بالصبر. وهذه الحضارات من وجهة نظرنا هي حضارات خالدة.

افترض أننا سنضع نهاية للتسليح النووي، وسنتحاشى مشكلتَي جرين جو وجراي جو، وسنعمل على تغيير مسار المذنبات والنيازك. افترض أننا لن نعمل على حل مشكلة الشيخوخة لكن سيبقى نوعنا حتى سن جليلة، وسنرسل البذور والبراعم إلى النجوم القريبة. وفي مكان آخر يعمل «أقاربنا» من الناحية البيولوجية وغيرها ببطء على التسلل إلى هذه المجرة ومليارات غيرها، وستؤدي المقابلات النادرة في الغالب إلى حالة من عدم الفهم المطبق الذي تلطفه نوبات من الإدراك المفاجئ، فبعض صور الحياة تتسم بالفضول والولع بالاستحواذ، والبعض الآخر يتسم بالاستبطان والانطواء، والبعض يتسم بالرقة، والبعض الآخر يتسم بالهلاك.

تقضي نهاية الضوء على كل صور الحياة، ما عدا أكثرها مثابرة وبراعة. ومع تراجع الكون عن نطاق الرؤية، يتخلى المهتمون بالثقوب السوداء عن فكرتهم القائلة إن «الثقوب الدودية لا تفضي إلى شيء»، ويحتشد الناجون بالقرب من الوهج المتلاشي الضعيف للثقب الأسود المركزي في مجرة ميلكوميدا وهم يقصون قصصًا خالدة عن الزمن. لقد مرت تريليونات عديدة من السنوات منذ الانفجار العظيم. ويتفق الجميع على أن الحياة قضت وقتًا طيبًا في هذا الكون.

أين يتركنا ذلك، أنحن نوع معيب لكن شديد الحيوية يتعلم كيف يحقق أقصى إمكانياته؟ إن الوعي نعمة ونقمة في الوقت ذاته. ربما نحن لسنا أكثر من طحالب تطفو

على بركة مرت بوقت طيب ليلة الجمعة واستيقظت صبيحة السبت وهي تظن أنها اكتسبت وعيًا بالكون وقلقًا حيال الوجود. هل من الأفضل أن نتصف بالكد كالنمل أم أن نتصف بسرعة الزوال كذبابة مايو، أم أن نتصف بالقدرة على استخدام عقولنا في التعامل مع عالم محدود يماثل رحم الأم، كما يفعل الأخطبوط أو الحوت؟ لنا الحق في أن نندهش لكوننا أكثر من مادة تفتقر إلى الذكاء. وفي هذا العالم المليء باللحظات السحرية، لا يهم ما يحدث في النهاية.

مسرد مصطلحات

احترار عالمي: الزيادة المتصاعدة في درجة الحرارة على مدار القرن الماضي، وهي ترتبط بشدة بالنشاط البشري وازدياد درجة تركيز ثاني أكسيد الكربون، الذي يعد أحد غازات الدفيئة.

ارتطام مجدب: ارتطامات الحطام الفضائي التي حدثت في وقت مبكر من تاريخ الأرض وكادت أن تزيل كل صور الحياة على الأرض وفي المحيطات. وليس معروفًا متى حدث آخر ارتطام من هذه الارتطامات.

استعمار الفضاء: فكرة العيش خارج كوكب الأرض إما في مدار كوكب أو قمر آخر أو على سطحه.

إشعاع هوكينج: طبقًا لنظرية وضعها ستيفن هوكينج، للثقوب السوداء درجة حرارة وهي تقذف الطاقة والمادة، وتتبخر بمعدل يزداد مع تناقص كتلة الثقب الأسود.

إعادة تأهيل: مصطلح يستخدم عادة للإشارة إلى كوكب المريخ، وهو فكرة جعل الكوكب أو القمر ملائمًا كموطن للبشر عن طريق تغيير مناخه.

أفق: في علم الكونيات، يعني الأفق حقيقة أن هناك حدًّا للرؤية يفرضه العمر المحدود للكون، لذا نحن مقيدون برؤية الأماكن التي يمكن للضوء أن يصل إلينا منها في ١٣٫٧ مليار عام، ومن المحتمل أن يكون إجمالي اتساع الفضاء أكبر بكثير.

أليل: أحد عناصر زوج أو سلسلة من الأشكال المختلفة لأحد الجينات. الجين الواحد يتحكم في لون الزهرة، لكن الأليلات المختلفة تؤدي إلى وجود ألوان مختلفة.

أنتروبيا: مقياس للاضطراب الذي يطرأ على أحد النظم، مع الميل للازدياد بمرور الوقت. تقلل الحياة البيولوجية من الأنتروبيا بطريقة محلية لأن الخلايا تخضع للتنظيم بدرجة عالية، لكن على حساب زيادة الأنتروبيا المرتبطة بالبيئة الخارجية لإحدى الخلايا أو أحد الكائنات.

انفجار عظيم: تشكل الكون من حالة حارة شديدة الكثافة منذ ١٣٫٧ مليار عام، وتعززه مشاهدات الإزاحة الحمراء في المجرات وإشعاع الخلفية الميكروني الكوني ووفرة الهيليوم والعناصر الخفيفة الأخرى.

انفجارات هائلة: أحداث تقع بين الفينة والأخرى وفيها يكون لنجم مماثل للشمس أحداث نشطة تزيد في قوتها ملايين المرات عن الانفجار الشمسي العادي.

انفصام عظيم: النهاية الافتراضية للكون في بعض نماذج الطاقة المظلمة، وفيه يتمدد الفضاء بصورة أسية وتتغلب الطاقة المظلمة على القوى في إطار المقاييس الأصغر حجمًا، مما يؤدي في النهاية إلى تشتت كل المادة.

انقراض جماعي: انخفاض حاد في عدد الأنواع خلال فترة زمنية قصيرة، مما يؤثر على جميع المجموعات التصنيفية. تم الاستدلال من الحفريات ذات التمثيل الجيد على وقوع خمسة انقراضات جماعية خلال النصف مليار عام الماضية.

انقراض سابق لظهور البشر: متوسط معدل اختفاء الأنواع، ويمكن أن يكون صعبًا في قياسه على نحو موثوق فيما يتعلق بالأنواع النادرة أو قصيرة الأجل أو الأنواع التي لا يتوافر لها عينات جيدة في سجل الحفريات.

تاريخ تطور السلالات: تاريخ الكائنات أثناء تغيرها بمرور الوقت. وعادةً ما يجري تمثيله في صورة «شجرة حياة» تعتمد على التغيرات التدريجية في المادة الجينية.

تبخر: عملية تحدث في المجرة وفيها يقذف بمعظم النجوم من المجرة وتتساقط الأخرى في مركزها.

تبذر شامل: تعبير يشير إلى منشأ الحياة على الأرض عن طريق انتقاله من مصدر كوني آخر يمكن أن يكون كوكبًا أو نظامًا نجميًّا مجاورًا.

تجميد الجثث: عملية يحفظ فيها الأشخاص أو الحيوانات في درجة حرارة منخفضة أملًا في إعادتهم للحياة في المستقبل. ليس معروفًا عنها أنها حالة قابلة للعكس.

تحلل الجسيمات: في معظم النظريات من المنتظر تحلل المادة العادية وفق إطار زمني طويل للغاية يبلغ $١٠^{٣٥}$ عام أو أطول من ذلك، لينتج عن ذلك الإلكترونات والبوزيترونات والفوتونات.

تضخم: أول كسر بسيط من الثانية يشهد زيادة أسية في حجم الكون، وهذا جعل منطقتنا المرئية من الزمكان ممتدة ومنبسطة.

تغير مناخي: مصطلح عام يطلق على التغيرات طويلة الأجل في المناخ العالمي، ويمكن أن تكون أسبابه جيولوجية أو فلكية بالإضافة إلى أكثر التغيرات حداثة الناتجة عن النشاط البشري.

تفرد: وقت افتراضي يحين في غضون عقود قليلة وفيه يؤدي التقدم الأسي في تكنولوجيا النانو والهندسة الوراثية ومجال الكمبيوتر إلى جنس بشري متجاوز للحدود البيولوجية.

تنبؤ بالمستقبل: دراسة المستقبل أو التكهن به. وكلما طال النطاق الزمني قل اليقين بشأن التكهن.

تنوع حيوي: تنوع الحياة داخل أحد النظم البيئية أو الكوكب بأكمله، وغالبًا ما يُستخدم كوسيلة لقياس ازدهار الحياة البيولوجية.

تيلومير: حمض نووي متكرر يقع في نهاية الكروموسومات، ليحميها من السرطان والتلف. يسبب قصر التيلوميرات أثناء انقسام الخلايا الشيخوخة على مستوى الخلايا.

ثقب أسود: البقايا التي تتخلف بعد موت أحد النجوم الضخمة، وذلك حين ينفد كل الوقود النووي. لا يمكن لأي مادة أو إشعاع من أي نوع أن يفر من قبضة الثقب الأسود.

ثقب أسود عملاق: ثقب يتشكل في مركز المجرات وله كتلة تتناسب مع الكتلة النجمية بالقرب من المركز. حين يكون الثقب الأسود غير نشط لا يكشف عن نفسه إلا بجاذبيته على النجوم بالقرب من المركز. وهو مصدر طاقة للنجوم الزائفة.

جايا: فكرة أن المحيط الحيوي هو نظام يتمتع بالتنظيم الذاتي، حيث تُضبط التغيرات التي تطرأ على البيئة من أجل الإبقاء على الحياة. ثمة شكل أكثر إثارة للجدل من هذه الفكرة يفترض أن الأرض كائن حي.

جثة نجمية: نجم مات بعد انتهاء تفاعلات الاندماج النووي. وتشمل الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية والثقوب السوداء التي تكون جميعها إما في صورة حالات نهائية مضغوطة أو نجوم باهتة.

جذر حر: ذرة أو جزيء يحوي إلكترونًا منفردًا في مداره الخارجي. ومن الناحية البيولوجية تتصف الجذور الحرة بأنها تفاعلية بدرجة كبيرة، وأن لها دورًا في نظريات تقدم الخلايا في العمر بسبب الضرر التأكسدي الذي تحدثه.

جرار الجاذبية: استخدام مركبة فضائية للتحليق بمحاذاة مذنب أو كويكب يهدد كوكب الأرض و«توجيهه» بواسطة الجاذبية إلى مسار آمن.

جرين جو: الفكرة التي تذهب إلى أن شكلًا ما لميكروب حالي أو مستقبلي قد يستطيع التفوق على كل أشكال الحياة الأخرى ويهيمن على المحيط الحيوي.

جينوم: المعلومات الوراثية لأحد الكائنات، وتوجد هذه المعلومات في الحمض النووي أو في الحمض الريبي النووي في حالة بعض الفيروسات.

حجة قائمة على مبدأ كوبرنيكوس: هي أي حجة يشار إليها في ضوء رؤية كوبرنيكوس بأن الأرض ليست مركز الكون. وبصورة عامة هي تدور حول الفكرة التي ترى أن موضع الأرض في كل من حيزي الزمان والمكان، أو حتى الموقف الحالي للبشرية، ليس مميزًا أو فريدًا.

حد كثافة المعلومات: الحد النهائي لكثافة تخزين المعلومات الذي تحدده الخصائص النظرية للثقوب السوداء.

حد هايفليك: الحد الطبيعي لحياة الخلية، وفي ظله يمكن أن تنقسم الخلية الموجودة في مستنبت عادي ٥٠ مرة فقط.

حقيقية النوى: خلية تُحصَر فيها المادة الجينية داخل نواة. وهي السلالة التي تطورت لتشمل كل النباتات والحيوانات.

حياة معلقة: فكرة إبطاء عملية الأيض إلى حالة قريبة من الموت كوسيلة للبقاء على قيد الحياة في رحلة طويلة في الفضاء.

خبير بشئون التأمين: شخص محترف يتعامل مع الآثار المالية للمخاطرة وانعدام اليقين، بما في ذلك وفاة الأشخاص. أوردت صحيفة وول ستريت جورنال هذه الوظيفة كأفضل وظيفة في الولايات المتحدة الأمريكية عام ٢٠٠٢.

خلود: العيش بصورة مادية أو غير مادية فترة زمنية غير محدودة. وبعض الأنواع البسيطة تتصف بأنها خالدة بيولوجيًّا.

خلية بدائية النواة: خلية بلا نواة، وهي أول أشكال الحياة الميكروبية على الأرض وأبسطها.

درب التبانة: المنظومة النجمية التي تنتمي إليها المجموعة الشمسية، وهي تضم نحو ٤٠٠ مليار نجم.

دهر الهاديان: هو الفترة الممتدة من تشكل الأرض حتى ٣٫٨ مليارات عام مضت، وخلاله تشكلت القشرة الأرضية والمحيطات، وبدأت الحياة على الأرجح لأول مرة في ظل ظروف مادية صعبة.

دورات ميلانكوفيتش: مجموع التأثيرات الدورية التي تحدث بسبب التغيرات في مناخ الأرض.

دورة الكربون: مجموعة متشابكة من تفاعلات المادة العضوية بين الصخور والمحيطات والغلاف الجوي والحياة.

رقائق كلسية طحلبية: البقايا الحفرية للمستعمرات الميكروبية التي ترجع إلى ٣٫٥ مليارات عام مضت وسلالاتها موجودة اليوم.

زركون: بلورة كثيفة ومتينة، لها عينات ترجع إلى ٤٫٤ مليارات عام. هذه العينات القديمة من قشرة الأرض تشير إلى اشتمال الكوكب آنذاك على الماء بحالته السائلة وأنه كان من الممكن أن يستضيف الحياة.

سحابة أورت: مستودع من المذنبات التي تزور الأجزاء الداخلية من المجموعة الشمسية أحيانًا. لا يمكن رصدها على نحو مباشر وهي تمتد لمسافة تزيد ٥٠ ألف مرة عن المسافة بين الأرض والشمس، وتحتوي على بضعة تريليونات من المذنبات.

سفر نجمي: السفر بين النجوم، وهو يتطلب تقنية دفع تفوق قدرتنا الحالية لكي نستطيع حتى الذهاب إلى النجوم القريبة أثناء حياة البشر.

سؤال فيرمي: السؤال «أين هي؟» الذي طرحه الفيزيائي إنريكو فيرمي إشارة إلى عدم وجود أي دليل على ظهور أجسام طائرة غير معروفة.

شتاء نووي: تأثير حرب نووية إقليمية أو عالمية، وفيه يمكن أن يتسبب تخزين الجسيمات في الطبقة العلوية من الغلاف الجوي في سيادة طقس بارد في الكوكب وتلف طبقة الأوزون.

شيخوخة: جميع العمليات البيولوجية لدى أحد الكائنات التي تؤدي إلى التقدم في العمر. ولقد أدى تعقد هذه العمليات — التي لا يتوافر لدينا فهم جيد للعديد منها — إلى العديد من النظريات التي تدور حول التقدم في العمر.

صمت عظيم: حقيقة أنه ليس هناك حضارات ذكية قامت بزيارة كوكب الأرض أو الاتصال به على الرغم من احتمال وجود هذه الحضارات في مجرة درب التبانة.

ضبط دقيق: في الفيزياء يعني الضبط الدقيق حقيقة أن قيم القوى الأساسية تقع ضمن نطاق ضيق نسبيًّا من شأنه أن يسمح بالحياة البيولوجية. وفي علم الكونيات، يعني حقيقة أن الكون المتمدد له خصائص مادية معينة تسمح بتطور الحياة البيولوجية.

طاقة مظلمة: سمة يتسم بها فراغ الفضاء مسئولة عن تسريع الامتداد الكوني. ليست طبيعتها المادية معلومة لكنها تشكل نسبة ٧٠٪ تقريبًا من الكون.

عالم الحمض الريبي النووي: مرحلة افتراضية وانتقالية في تطور الحياة تسبق الحمض النووي والخلايا، وفيها شَفَّرَ الحمض الريبي النووي المعلومات الجينية وحفز نسخها.

عتائق: أحدث نطاق اكتشف من الحياة الميكروبية، وهي الأقرب إلى جذر شجرة الحياة.

علم أحياء إنمائي تطوري: مجال يدرس كيف يمكن أن تؤدي عمليات التطور والتأثيرات البيئية إلى سمات جديدة في أحد الكائنات.

علم الموت: دراسة متعددة المجالات للموت، وعادةً تكون في سياق ثقافي أو علمي.

عنق الزجاجة السكانية: موقف يتسبب فيه المرض أو سوء التكيف أو التغير البيئي في وصول الأنواع إلى حافة الانقراض. ويتزايد الجنوح الجيني داخل المجتمعات السكانية الأقل عددًا.

فرضية المحاكاة: فرضية تعززها احتمالية وجود حضارات ذكية أخرى أكثر تقدمًا من حضارتنا، وهي تقضي بأننا نعيش داخل عملية محاكاة حاسوبية أنشأتها كائنات ذات ذكاء فائق.

فيزياء فلكية حاسوبية: مجال معني بمحاكاة الجوانب المهمة المتعددة للكون عن طريق أجهزة الكمبيوتر.

قزم أبيض: الحالة النهائية للشمس وجميع النجوم منخفضة الكتلة، ففي ظل عدم وجود المزيد من الوقود النووي تصير الأقزام البيضاء جمرات تفقد حرارتها ببطء.

قزم بني: جرم صغير للغاية لا تسمح درجة حرارته بأي نوع من تفاعلات الاندماج النووي، لذا يتوهج بالأشعة تحت الحمراء.

كائن ممرض: وسيط بيولوجي يسبب المرض لعائله، ويمكن أن يكون ذا طبيعة بكتيرية أو فيروسية.

كائنات البيئات القاسية: كائنات متكيفة مع ظروف مادية تتخطى النطاق العادي لدرجة الحرارة أو الضغط أو درجة الحموضة والقاعدية أو الملوحة أو التميه أو الإشعاع المرتبط بمعظم الحيوانات. ومعظم الكائنات من هذا النوع ميكروبية لكن ليس جميعها.

كرة أرضية ثلجية: يشير هذا التعبير إلى كوكب الأرض منذ ٧٠٠ مليون عام، وعلى الأرجح أيضًا منذ ٢٫٢ مليار عام، حين ترك التغير المناخي الهائل الأرض في حالة باردة غطى فيها الثلج جزءًا كبيرًا من الكوكب.

كوكب الأرض النادر: فكرة طرحها بيتر وارد ودون براونلي وتذهب إلى أن الظروف اللازمة لتطور حياة معقدة أو ذكية هي ظروف نادرة، وأنه من النادر وجود كواكب أخرى تماثل الأرض.

كوكب خارج المجموعة الشمسية: كوكب يوجد فيما وراء المجموعة الشمسية. اكْتُشف أول كوكب من هذه الكواكب عام ١٩٩٥، والآن صار هناك ٤٠٠ كوكب معروف، معظمها يماثل المشتري في كتلته لكن أصغر تلك الكواكب يقترب في كتلته من كتلة الأرض.

كوكب صالح للحياة: هذا الوصف يشير إلى المعايير التي من خلالها قد يستطيع أي كوكب بخلاف كوكب الأرض أن يستضيف الحياة، مع الالتزام بقيود الحياة الميكروبية على سطح الأرض.

كون متعدد: مجموعة افتراضية متوازية مكونة من عدة أكوان نابعة من حيز الزمكان الكمومي الأولي الذي أوجد كوننا. وقد يكون لجميعها خصائص وحالات مادية مختلفة.

كويكب متقاطع مع مدار الأرض: كويكب ثمة احتمال أن يصطدم بالأرض، مع أن احتمال وقوع هذا الأمر لمعظم الكويكبات ضئيل للغاية. يطلق عليه أيضًا اسم جسم قريب من الأرض.

ما بعد الإنسانية: حركة ثقافية وفكرية دولية تدعم استخدام التكنولوجيا لتحسين القدرات البشرية.

مادة مظلمة: شكل مبهم للمادة يتفوق على المادة العادية (البروتونات والنيوترونات والإلكترونات) بمعامل قيمته ٧، وهي مسئولة عن الجاذبية التي تبقي على المجرات معًا.

مبدأ إنساني: يعني أن سمات الكون تتشكل بحيث تؤدي إلى وجود المراقبين الأذكياء أو الحياة الذكية بصورة عامة، وهو فرضية فلسفية محل جدال.

متوسط العمر المتوقع للإنسان: عادةً ما يُحدد عند الولادة، لذا قد يشهد المتوسط انخفاضًا حين يرتفع معدل وفيات الأطفال.

مجرة المرأة المسلسلة (أندروميدا): يطلق عليها أيضًا اسم إم٣١، وهي مجرة حلزونية تماثل مجرة درب التبانة حجمًا وتبعد عنها بمسافة ٢٫٢ مليون سنة ضوئية.

محيط حيوي: «نظام» الحياة الكامل على سطح الأرض، ويقع معظمه في اليابسة والهواء والمحيطات، لكن جزءًا جوهريًّا منه يوجد أسفل السطح، وبعض أجزائه قد تكون غير معروفة.

مخالفة الحقائق: حالة واقعية أو نتيجة لتطور الكون لا تُرصد، لكنها ممكنة الحدوث من حيث المبدأ.

مخلوق بشري آلي: هجين للإنسان والروبوت، قائم على الدمج الافتراضي بين البشر والتكنولوجيا المساعدة.

مسبارات فضائية ذاتية النسخ: يطلق عليها أيضًا اسم الروبوتات الدقيقة أو آلات فون نيومان، ويمكنها أن تنتقل إلى نجوم قريبة وتنقب عن المعادن لتشكل نسخًا مماثلة لذاتها وتستكشف المجرة.

مستعر أعظم (سوبرنوفا): الموت العنيف لنجم ضخم، وهو لا يشكل خطرًا على الأرض إلا إذا حدث في مسافة تصل إلى ٢٥ سنة ضوئية.

مستعرات عظمى فائقة (هايبرنوفا): أكثر الانفجارات الكونية المعروفة شدةً؛ إذ يطلق سيلًا من أشعة جاما والإشعاع المهلك في انفجارين نفاثين. وهو مهلك للأرض لو وجه إليها من مسافة ألف سنة ضوئية.

مستعمرة متطابقة الجينات: مجموعة من الكائنات المتطابقة جينيًّا في مكان واحد نشأت بصورة نباتية — وليست تناسلية — من سلف واحد. ومن الممكن أن تكون مستعمرة لنباتات أو فطريات أو بكتيريا.

معادلة دريك: سلسلة من العوامل الرقمية التي تقدم تقديرًا تقريبيًّا لعدد الحضارات الذكية التي يمكن التواصل معها في مجرة درب التبانة.

معدل الأيض: معدل يقيس حرق الجسم للطاقة خلال فترة زمنية معينة، إما في صورة استهلاك للغذاء أو تحرير للطاقة في صورة درجة حرارة أو استهلاك للأكسجين.

معدل الوفيات: عدد الوفيات في أحد المجتمعات مقاسًا بحجم سكانه، وذلك لكل فترة زمنية محددة. وعادةً ما يقاس بعدد الوفيات لكل ألف شخص سنويًّا.

منطقة صالحة للحياة: بصورة تقليدية، هي نطاق المسافات الممتدة من أحد النجوم وفيها يمكن أن يظل الماء سائلًا على سطح أحد الكواكب أو الأقمار. لكن إن كان لدى الكواكب أو الأقمار مصادر داخلية للحرارة، يمكن أن تتسع هذه المنطقة على نحو كبير.

موت عظيم: مصطلح يطلق على الفقد الشديد للتنوع الحيوي بدهرنا الحالي، وهو انقراض جماعي سادس ناتج عن النشاط البشري.

موجات جاذبية: تموجات بالزمكان ناتجة عن قيام أي جسم هائل أو مضغوط بتغيير تركيبه.

مؤشر حيوي: إشارة إلى وجود الحياة في كوكب أو قمر بعيد، وهو يعتمد على المعلومات المستقاة من الصور أو التحليلات الطيفية.

ميلكوميدا: الحالة النهائية المفترضة لمجرة درب التبانة بعد اندماجها مع مجرة المرأة المسلسلة في غضون مليارات قليلة من الأعوام.

مئوي: شخص عاش حتى سن ١٠٠ عام أو أكثر. شخص واحد من بين كل ٥ آلاف أمريكي يصل إلى سن المائة عام.

مئوي خارق: شخص عاش حتى سن ١١٠ أعوام أو أكثر. من بين كل ألف مئوي لا يعيش حتى هذه السن سوى شخص واحد.

نجم زائف: ظاهرة متعلقة بالطاقة تحدث بالقرب من ثقب أسود عملاق يوجد في مركز إحدى المجرات وتفوق في ضوئها ضوء النجوم الصادر من بقية المجرة.

نجم نيوتروني: الحالة النهائية لنجم ضخم، وفيها تكون البقايا المتخلفة عن النجم ذات كثافة نووية علاوةً على أنها تتشكل من نيوترونات خالصة.

نظرية الأوتار الفائقة: نظرية أساسية للطبيعة تفترض وجود ١٠ أبعاد من الزمكان، والجسيمات هي تجسيدات لأوتار صغيرة للغاية أحادية البعد.

نظرية الكون الدوري: نظرية تذهب إلى أن كوننا المتمدد هو طور في سلسلة لا نهاية لها من الأكوان، ويحفز على هذه السلسلة اصطدامات كيانات ذات أبعاد أعلى تدعى الأغشية.

نمط جيني: التركيب الجيني لأحد الكائنات أو المعلومات الوراثية الكاملة عنه، حتى لو لم تكن معبرًا عنها بالكامل.

نمط ظاهري: الخصائص الفعلية المرصودة لأحد الكائنات؛ بما في ذلك سلوكه وشكله وتطوره.

نوع: تعريف بيولوجي أساسي، لكن المثير للدهشة أنه من الصعب تعريفه. هو مجموعة من الأفراد القادرين على التزاوج وإنجاب ذرية خصبة، ويمكن أيضًا تعريفه باستخدام الحمض النووي أو المورفولوجيا.

وبائي: صفة تعبر عن الوباء الذي ينتشر خلال منطقة كبيرة بصورة لا يمكن السيطرة عليها بسبب مرض معدٍ.

ملاحظات

الفصل الأول: للنهايات طابع شخصي

(١) ابتدعت الثقافات الغربية أقنعة للأشخاص الذين يموتون حديثًا منذ أن كان المصريون يضعون بصورة روتينية قناعًا منحوتًا في النعش الحجري لكل فرعون. استخدم الرومانيون الأثرياءُ الشمعَ في حفظ صورة مماثلة لأفراد عائلتهم، وكانت تستخدم بعد ذلك في نحت تماثيل حجرية لهم. وكانت الأقنعة الرومانية تخضع لتعديلات فنية عند تجسيدها في تماثيل حجرية لكي تكون أكثر جلالة ونبلًا، لكن في العصور الوسطى جرت العادة على إعداد الأقنعة على قوالب من الشمع أو الجص؛ لذا كانت النتيجة هي نُسخ حقيقية طبق الأصل للوجه بعد الوفاة. وكانت الأقنعة تُعد للمشاهير وليس فقط للنبلاء والحكام. ومن الأمثلة على ذلك دانتي وفولتير وشوبان وكيتس.

(٢) صارت ألعاب الفيديو — ومن أمثلتها لعبة «سرقة السيارات الكبرى» — الأكثر شهرة بسبب عنفها غير المبرر المتاح مجانًا، لكن الموت والتشويه وجدا سبيلهما أيضًا إلى شاشة التليفزيون العادية؛ فقد توصلت دراسة أجرتها الجمعية الوطنية لشبكة التليفزيون المدفوع تحت اسم «دراسة العنف على شاشات التليفزيون الوطنية» إلى أن العنف حاضر في نسبة ٦٠ في المائة من جميع البرامج التليفزيونية، وأن ثلثي هذه البرامج يجسد شخصيات طالحة تنجو من العقاب، وأن ربعها فقط يوضح العواقب السلبية طويلة الأمد للعنف. وجرى توضيح العلاقة بين العنف المجسَّد على شاشة التليفزيون والسلوك العنيف والعدائي لدى الشباب عدة مرات، وكان أكثرها إقناعًا تلك الدراسة

الطولية الصادرة عن جامعة ميشيجن عام ٢٠٠٣. ويبدو جمود العواطف سبيلًا غير صحي للتعامل مع حقيقة الموت.

(٣) ترد البيانات من دراسة حملت اسم «استطلاع المشهد الديني في الولايات المتحدة الأمريكية» وأجراها على ٣٥ ألف بالغ عام ٢٠٠٨ منتدى بيو لدراسة الأديان والحياة العامة. وتوصل استطلاع للرأي أجرته الجمعية الأمريكية للمتقاعدين عام ٢٠٠٨ إلى أن الاعتقاد في الحياة بعد الموت أقوى بين النساء منه بين الرجال، وربما مما لا يثير الدهشة أن هذا الاعتقاد يزيد بعد سن الخمسين.

(٤) هذا الاقتباس مأخوذ من مقابلة وردت في دورية «أطلانطا جورنال كونستيتيوشن» في ٩ أكتوبر عام ٢٠٠٨.

(٥) هذا الاقتباس مأخوذ من خطاب كتبه بوزويل إلى ويليام جونسون تمبل في يوليو عام ١٨٥٨، ونشر في المجلد الأول من «خطابات جيمس بوزويل» للكاتب سي بي تينكر (كلاريندون برس، ١٩٢٤).

(٦) هذا الاقتباس مأخوذ من خاتمة كتبتها آن درويان في كتاب كارل ساجان بعنوان «مليارات ومليارات» (بالانتاين، ١٩٩٧).

(٧) تتسبب المستعمرات المتطابقة الجينات في تعقيد الجدال الدائر بشأن العمر؛ ففي أنواع النبات والفطريات المعمرة لا يكون أي جزء فردي من المستعمرة حيًّا — بمعنى أن به عملية أيض — لأكثر من جزء صغير من عمر المستعمرة بأكملها. وبعض المستعمرات المتطابقة الجينات يرتبط بعضها ببعض بنظمها الجذرية مثل شجر الحور الأبيض الموجود في جبال واساتش بولاية يوتا الذي تمتد جذوره لمسافة ٤٠ هكتارًا، في حين تكوِّن مستعمرات أخرى أجزاءً نامية من فطر يتكاثر لاتزاوجيًّا مثل الأفطورة التي تبلغ من العمر ٢٢٠٠ عام وتمتد جذورها مسافة ٩٧١ هكتارًا في شرق ولاية أوريجون. وتتحدد الأعمار للمستعمرات متطابقة الجينات بصورة تقديرات.

(٨) هذه البيانات منتقاة من نشرة عن الطبيعة صادرة عن دائرة الحفاظ على الغابات في مقاطعة كوك وتجمع سجلات موثوقًا بها من حدائق الحيوانات والمرابي المائية في جميع أنحاء العالم.

(٩) يصدر مكتب الإحصاء الأمريكي كل عشر سنوات تقريرًا يحوي معلومات عن المئويين الأمريكيين. في تلك الدراسة وغيرها من الدراسات التي بحثت عن سمات مشتركة بين أولئك الذين عاشوا حتى سن المائة، كانت الإجابات بسيطة إلى حد ما: ابتعدْ عن

التدخين، واحصلْ على قسط وفير من النوم والتدريبات الرياضية، واتبعْ نظامًا غذائيًّا متوازنًا، وابقَ مشغول البال. هناك أشياء أخرى يجب تجنُّبها، وهي السمنة المفرطة، والتعرض لتجربة الطلاق، والإجهاد الزائد؛ فيبدو أن المئويين يتمتعون بمهارة عدم السماح للتوتر بالتأثير عليهم. وللتركيب الوراثي الجيد دور فعال في ذلك، لكن ليس لك سبيل للتحكم فيه. يضاف إلى ذلك النصيحة التي قدمتها الشخصية المئوية الخيالية هاك فين بقولها: «اليوم هو ما يهم؛ فالملابس الراقية تثير الحكَّة، والمال عبء.»

(١٠) يُجري منتدى بيو لدراسة الأديان والحياة العامة استطلاعات دورية للرأي عن المشهد الديني الأمريكي. يتصف الأمريكيون بالتدين الشديد، لكنهم غير عقائديين؛ فمعظمهم يتفقون مع القول الذي يذهب إلى أن العديد من الأديان — وليس فقط ديانتهم — يمكن أن تؤدي إلى حياة أبدية (أما الملحدون واللاأدريون فلا ينطبق عليهم هذا الكلام …) ولقد وجد أحدث استطلاع للرأي أجري عام ٢٠٠٨ أن ٦ من بين كل ١٠ بوذيين يعتقدون في النرفانا (السعادة القصوى)، والنسبة نفسها من الهندوس يعتقدون في تناسخ الأرواح. وفيما يتعلق بجميع التقاليد الدينية الرئيسية يكون الإيمان بالجنة أقوى من الإيمان بالجحيم.

(١١) كان الشك الذي غلب على ديكارت السبب في شعوره بالقلق من أن تكون جميع تجاربه نتيجة لقوة خارجية قوية: «شيطان ماكر». هذا القلق الفطري يبدو أمرًا لا مفر منه؛ فكيف يمكنك أن تثبت أنك لا تمر بالموقف المخيف الذي يصفه ديكارت؟ بل تعمَّق فلاسفة العصر الحديث في طرح هذه الفكرة عن طريق التساؤل: كيف يمكنك إثبات أنك لست مجرد «مخ في وعاء»؟ كما يتردد صدى فكرة ديكارت الأساسية في فيلم المصفوفة (ذي ماتريكس). ما من طريقة بارعة للخروج من هذا المأزق، لكن ديكارت ذهب إلى أن المرء لا يستطيع التشكيك في وجود الذات. جميع الأفكار تفترض ضمنًا أن هناك مفكرًا، بل حتى في حالة الشك لا بد أن توجد ذات تمارس فعل الشك. ومن هنا جاءت عبارته الشهيرة: «أنا أفكر إذن أنا موجود.»

(١٢) شهد القرن العشرون نشأة التفسيرات البيولوجية للحياة والتفسيرات الآلية لوظيفة المخ. استهزأ جلبرت رايل على نحو شهير بنظرية الثنائية واصفًا إياها بأنها «أسطورة ديكارت» و«خرافة الشبح في الآلة»، وقد ذهب إلى أن الثنائية نشأت من نمط من تفكير وصفه الفلاسفة بالخطأ الفئوي. افترض أنك تقوم بزيارة لإحدى الجامعات وأتيح لك جولة في الحرم الجامعي وفرصة رؤية عنابر النوم والقاعات الدراسية والمكتبة

وما إلى ذلك. ها أنت في نهاية الجولة تسأل: «أين الجامعة؟» لكن الجامعة ليست كيانًا منفصلًا عن جميع أجزائها؛ فهي تمثل جميع الأجزاء. على نحو مماثل ذهب رايل إلى أنه لا ينبغي التفكير في العقل على أنه كيان منفصل عن الجسد أو المخ. وجدير بالذكر أن المادية ليست منتصرة على الرغم من أن السيادة لها؛ فالعلماء لم يفسروا مثلًا نجاح الوعي في إطار وظيفة المخ المادية.

(١٣) نُشرت في دورية «لانسيت» في الخامس عشر من ديسمبر عام ٢٠٠١. انظر أيضًا مقالة كتبها جاري هابرماس عنوانها «تجارب الاقتراب من الموت والدليل: مقال استعراضي» نُشرت في العدد ٢٦ من دورية «كريستيان سكولرز ريفيو» (١٩٩٦)، صفحة ٧٨.

(١٤) مقالة للباحث كارل يانسن عنوانها «نموذج الكيتامين لتجربة الاقتراب من الموت: دور رئيسي لمستقبل الخلايا العصبية في المخ»، http://Ieda.lycaeum.org (ديسمبر عام ٢٠٠٨).

الفصل الثاني: كل الأشياء الطيبة لا بد أن تنقضي

(١) على الرغم من أن قَسَم أبقراط التقليدي كان من أقدم الوثائق في التاريخ الإنساني، ففي الوقت الحالي عدد قليل من الأطباء هم من يقسمون القسم التقليدي في نهاية التدريب الذي يحصلون عليه. والعديد من كليات الطب تستخدم نسخةً معاصرةً من هذا القسم كتبها عام ١٩٦٤ الطبيب لويس لازانيا عميد كلية الطب بجامعة تافتس. يحذف القسم الأحدث الحظر الذي وجهته النسخة الأقدم للإجهاض والقتل الرحيم، لكنه لا يحظر الاتصال الجنسي بين الطبيب والمريض.

(٢) بيانات مأخوذة من وزارة التجارة الأمريكية، مكتب التعداد، «الإحصائيات التاريخية للولايات المتحدة».

(٣) بيانات مأخوذة من خدمة الصحة العامة الأمريكية، «الإحصائيات الحيوية للولايات المتحدة»، المجلد الأول والثاني، جزء من نظام الإحصائيات الحيوية الوطنية.

(٤) بيانات مأخوذة من منظمة الصحة العالمية، جنيف، سويسرا، «الدليل السنوي لإحصائيات الصحة العالمية».

(٥) بيانات مأخوذة من منظمة الصحة العالمية، «حقائق عن الحوادث الدولية»، العدد الثالث، و«التقرير العالمي عن العنف والصحة».

(٦) ضمت مجلة «كوند ناست ترافلر» مقالةً نشرت في شهر فبراير عام ٢٠٠٣ وأجرت استطلاعًا لآراء القراء بشأن أكبر مخاوفهم من السفر، وقارنت بينها وبين المخاطر التي تسجلها الإحصائيات.

(٧) ينهض «مجلس السلامة الوطني» بمهمة جمع ونشر الإحصائيات حول طرق الموت والإصابة بدءًا من الحالات المعتادة، وحتى تلك شديدة الغموض، معتمدًا على البيانات الواردة من «المركز الوطني لإحصائيات الصحة» و«مكتب التعداد الأمريكي».

(٨) لطالما كان تفصيل معدلات الوفاة حسب المهنة أمرًا صعب التفسير، وتعد الإحصائيات عن الانتحار أكثر إثارة للجدل؛ لأنه ليس هناك قاعدة بيانات وطنية. وقد أشار «المعهد القومي للسلامة والصحة المهنية» في تقرير صدر عنه عام ١٩٩٥ إلى أن أعضاء مهنة الطب سجلوا معدلات انتحار أعلى، وكذلك الزنوج والحراس من الذكور ورجال الشرطة والممثلات البيض. لا تفسح المهنة مجالًا للتنبؤ بشدة؛ فقد وثق اختصاصيو علم النفس منذ وقت طويل أن أبرز العوامل المتنبئة بالانتحار هي الاضطراب العقلي والنفسي وتعاطي المخدرات وفقد الدعم الاجتماعي وسهولة الوصول إلى الأسلحة.

(٩) في عام ٢٠٠٩ مُنحت جائزة نوبل في الفسيولوجيا إلى إليزابيث بلاكبيرن وكارول جريدر وجاك زوستاك عن عملهم على اكتشاف دور التيلومير في حماية الكروموسومات.

(١٠) التعريف الأساسي لمصطلح الأنتروبيا تفسير إحصائي؛ وهو يصف عدد الحالات المجهرية الممكنة لأي نظام. وقد نُقشت معادلتها على شاهد ضريح عالم الفيزياء النمساوي لودفيج بولتزمان. والعلاقة بين اضطراب الجزيئات الصغيرة والحرارة واضحة في مثال ذوبان الثلج إلى ماء؛ إذ تتحول مصفوفة مرتبة من جزيئات الثلج إلى جزيئات ماء مضطربة تتدفق بحرية. الحياة تستخدم الطاقة، وتعد الأنتروبيا السلبية مقياسًا لمدى فائدة الطاقة. والعمليات البيولوجية تأخذ الأنتروبيا السلبية في شكل جزيئات مخزنة للطاقة وتحرر كمية أكبر من الأنتروبيا في صورة حرارة في البيئة. يمكنك العثور على مقدمة سهلة نسبيًّا عن الديناميكا الحرارية والحياة في مقالة كتبها جي ميجل روبي وعنوانها «هل تخرق الطبيعة القانون الثاني للديناميكا الحرارية؟» في مجلة «ساينتفيك أمريكان»، أكتوبر عام ٢٠٠٨.

(١١) يتطور علم تجميد الجثث بسرعة، وهو ما يعني أن القابلية الافتراضية لإحياء الجثث الأولى المجمدة هي محل شك أكبر. يتبع منهج تجميد الجثث استراتيجية «الأخير في الدخول هو الأول في الخروج»؛ إذ ستعمل الأساليب المستقبلية للإنعاش في أفضل

صورها على المرضى الذين دفنوا حديثًا. وقد قام الباحث أناتولي بودجان الذي يعمل بجامعة هلسنكي بتجاربه على «الماء البراق» الذي يمكن الإفراط في تبريده ببطء للوصول إلى حالة غير متبلورة؛ أي دون تبلور الخلايا وتلفها. وليس من المفاجئ أن تؤدي فكرة تجميد الجثث، في عصرنا المليء بالدعاوى القانونية، إلى تأسيس فرع جديد من القانون. وقد نقلت صحيفة «وول ستريت جورنال» في الحادي والعشرين من شهر يناير عام ٢٠٠٦ خبرًا عن «الودائع المجمدة» التي تسمح للمرضى المتجمدين بأن تُدار عقاراتهم وتُتخذ قرارات الاستثمار نيابة عنهم وهم في الجليد، فلا تنتقل أصولهم إلى سلالتهم، وبذا يكتسب المرضى ميزة التمتع بآلاف السنوات من الفائدة عند إنعاشهم.

(١٢) يعد تعريف الموت ذا أهمية كبيرة لأديان العالم التي قد ترغب في أن تنتهج مهنة الطب إجراءات تتوافق مع تعاليمها؛ على سبيل المثال عقدت «الأكاديمية البابوية للعلوم» مؤتمرًا عام ٢٠٠٦ بحضور أطباء من التخصصات المتنوعة وأطباء الأمراض العصبية من جميع أنحاء العالم من أجل استكشاف تعريف الموت. وردت التوصيات الناتجة عن هذا المؤتمر والمناقشات التي دارت فيه في المجلد ١١٠ من «علامات الموت» (الأكاديمية البابوية للعلوم، عام ٢٠٠٧).

(١٣) كما رأينا في الفصل السابق، أدت زيادة عدد عمليات الإنعاش الناجحة إلى أبحاث ومطبوعات متزايدة عن تجارب الاقتراب من الموت. وعام ٢٠٠٨ طرح الباحثون بجامعة ساوثامبتون دراسة عنوانها «الوعي أثناء عمليات الإنعاش» شملت مرضى في مستشفيات بأوروبا والولايات المتحدة. حوالي نسبة ٢٠ بالمائة من مرضى السكتة القلبية مروا بتجربة الاقتراب من الموت، وفيها يتذكرون تفاصيل العملية الجراحية، وأحيانًا يمكن توثيقها بالأدلة جيدًا. فإن كان هناك «حالة ثالثة» بين الحياة والموت فربما يعد ذلك خبرًا طيبًا لمن يلجئون إلى تجميد الجثث.

الفصل الثالث: مستقبل البشرية

(١) لا يحظى كارل لينيوس بالشهرة التي يستحقها على الرغم من دوره المحوري في علم النبات وعلم الحيوان. لقد أرسل الفيلسوف جان جاك روسو رسالة تقول: «أخبروه أنني لا أعرف شخصًا أعظم منه على سطح الأرض.» لقد طور لينيوس التصنيف ثنائي التسمية للأنواع الذي لا يزال مستخدمًا، بل حاول أن يزيد من نطاقه لكي يمتد به إلى المعادن. كان معلمًا رائعًا ومصدر إلهام للعديد من تلاميذه، مع أن كثيرين ماتوا وهم يجمعون العينات لأستاذهم.

(٢) تشكل الميكروبات عبئًا حقيقيًّا فيما يتعلق بالتصنيف؛ لأن مفهوم النوع التقليدي يفشل متى يكون هناك استنساخ أو تكاثر لاجنسي، ومتى لا يكون علم التشكل مرشدًا لعملية التصنيف. اعتنق أخصائيو الميكروبيولوجيا تعريفًا يقوم على التطابق الجزئي للجينات مثل ذلك الذي يقضي بأن الأنواع لا بد أن تتشارك في تطابق جزئي للدنا بنسبة ٧٠ بالمائة على الأقل، أو تطابق جزئي للرنا الريبوسومي 16S بنسبة ٩٧ بالمائة. لكن دابليو فورد دوليتل أوضح في مجلة «ميكروبيولوجي توداي» (نوفمبر ٢٠٠٦، صفحة ١٤٨) أن النقل الأفقي للجينات سائد بين بدائيات النوى (أشكال الحياة المكونة من خلية واحدة بلا نواة)، وأن هذا يجعل من أي تعريف جيني لانفصال الأنواع أمرًا معقدًا.

(٣) الانتواع الانفصالي هو الاسم الذي يُطلق على الموقف الذي يوجد فيه حاجز مادي يحول دون التناسل ويؤدي إلى انحراف جيني إلى نوع منفصل. صورة مختلفة من هذا الأمر تظهر عندما يكون المجتمع المعزول جغرافيًّا أصغر بكثير من المجتمع الأساسي، وتوصَّل إرنست ماير إلى هذا «التأثير المؤسس» في مجتمع صغير؛ إذ يمكنه أن يؤدي إلى انحراف جيني، وإلى ما يُطلق عليه اسم انتواع خارجي. ثمة مثال ثالث، وهو وجود مجتمعين متجاورين ماديًّا ولا يشتملان إلا على منطقة اتصال صغيرة في موطن دائم؛ تؤدي التباينات في معدل تكرار التزاوج إلى ما يعرف بالانتواع المحاذي. يظهر أكثر أنماط الانتواع إثارة للجدل حين يظهر الانحراف الجيني داخل المنطقة الجغرافية نفسها، وهو ما يطلق عليه اسم الانتواع التماثلي. ومن أمثلة ذلك أشكال حوت الأوركا القاتل «القاطنة» و«قصيرة الإقامة» في شمال غرب المحيط الهادي.

(٤) لقد انْتُهك بالفعل الحاجز بطرق قد يجدها البعض مقلقة. في أبريل عام ٢٠٠٨ نشرت الصحف البريطانية خبرًا عن أن فريقًا بقيادة لايل آرمسترونج خلق أول أجنة مهجنة للإنسان والحيوان. لقد أدرجوا الحمض النووي البشري المأخوذ من إحدى خلايا الجلد في بويضة بقرة مفرغة، واستخدموا الصدمة الكهربائية لحثها على النمو. نما الجنين — الذي كان بشريًّا بنسبة ٩٩٫٩ بالمائة وحيوانيًّا بنسبة ٠٫١ بالمائة — لمدة ثلاثة أيام حتى اشتمل على ٣٢ خلية. الهدف هو حصد مثل هذه السلالات المهجنة من أجل الحصول على الخلايا الجذعية.

(٥) ينظر الفلاسفة لمرونة تعريف النوع بتجهم؛ فهم يتشككون في حالته الوجودية ويتساءلون عما إذا كانت الأنواع هي أنماط من الكائنات أم الأفراد. هم لا يرون أي

إشارة على توصل علماء الأحياء إلى الاختيار ما بين أحادية النوع وتعدده، وما إذا كان هناك مبدأ بيولوجي واحد يوحد كل أفراد النوع أم لا. وأخيرًا، هم متشككون فيما إذا كان «النوع» فئة حقيقة في الطبيعة أم لا.

(٦) في شهر يونيو عام ٢٠٠٨ أجاز البرلمان الإسباني قرارًا يمنح الرئيسيات الحق في الحياة والحرية. جاء هذا بعد اعتراف سويسرا عام ١٩٩٢ ثم ألمانيا عام ٢٠٠٢ بالحيوانات ككائنات وليس كأشياء. حظيت الحركة الداعية لمنح القردة العليا «صبغة الإنسان» بقوة دافعة في العالم المتقدم، وكسبت تأييد أشخاص بارزين مثل جين جودال وريتشارد دوكينز والفيلسوف بيتر سينجر الأستاذ بجامعة برنستون وستيفن وايز أستاذ القانون بجمعة هارفارد. ومع ذلك يثير هذا بعض القضايا الأخلاقية والقانونية المعقدة؛ فإن كان للقردة حقوق فهل عليها أيضًا مسئوليات؟ ماذا عن المواقف التي تحدث في البرية حين يرتكب الشمبانزي جريمة قتل طفل أو يشوه الجيران أو يعذب ظبيًا لا نية لديه لتناوله كطعام؟ نحن نحدد القوانين، لكن لا بد أن نعترف أن مسألة إضفاء صبغة الإنسان ليست مسألة واضحة وصريحة؛ فلن نستطيع أبدًا أن نستشعر المشهد الذهني الداخلي لمخلوق آخر.

(٧) يترتب على حقيقة أن الأنواع متنوعة الخصائص المورفولوجية تتشارك في قدر كبير من المادة الجينية حقيقة أن السمات التي تميز إحدى «القبائل» البشرية عن الأخرى تنشأ عن عمل مجموعة صغيرة من الجينات. فمعظم السمات المميزة للعرق — لون البشرة ولون الشعر وتركيبته المميزة وملامح الوجه — مبنية على تنوع جيني أقل من ذلك الموجود بين أفراد أي عرق واحد.

(٨) إن اقتراح التهجين بين سلالات الشمبانزي والسلالات البشرية مثير للجدل؛ لأنه يتوقف على الاعتماد على التأريخ باستخدام تسلسلات الحمض النووي، وهو ما يعد أقل موثوقية مقارنة بالتأريخ الإشعاعي للجماجم التي وجدت في الحفريات. والنتيجة الرئيسية للتحليل الوراثي الذي أجراه فريق عمل تحت قيادة ديفيد ريتش، الذي يعمل في «معهد الأبحاث الموسعة» في كامبريدج بولاية ماساتشوستس، هي أن كروموسومات إكس لدى الإنسان والشمبانزي تفترق بعد حوالي ١٫٢ مليون عام مقارنة بالكروموسومات الأخرى (لدى الأنثى اثنان من كروموسومات إكس في حين لدى الذكر كروموسوم إكس واحد وكروموسوم واي واحد).

(٩) توصل آجيت فاركي وفريق عمل بجامعة كاليفورنيا في سان دييجو إلى جين يعمل على تسهيل نمو المخ لدى البشر وليس لدى القرود، وهذا الجين وجد سبيله إلى السلالة البشرية عن طريق طفرة وقعت منذ حوالي ٢٫٧ مليون عام.

(١٠) بحث أجراه باتريك إيفانز ومعاونوه في «معهد هاوارد هيوز الطبي»، ونُشر في العدد ٣٠٩ من مجلة «ساينس» (٢٠٠٦)، صفحة ١٧١٧. كان الفريق نفسه قد حدد في وقت سابق ٤٥ تغييرًا مفيدًا في الأحماض الأمينية في الجين «ميكروسيفالين» على مدار ٣٠ مليون عام من التطور من الرئيسيات العليا وحتى السلالة البشرية المعاصرة.

(١١) ليس يسيرًا قياس معدل الانقراض السابق؛ لأن الأنواع قصيرة الأجل ربما أخذت عينات لها على نحو غير تام من سجل الحفريات غير المكتمل.

(١٢) البيانات مأخوذة من وكالة حماية البيئة الأمريكية، «تقرير وقائع» النفايات الصلبة الحضرية، ٢٠٠٧، على العنوان: http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/msw07-fs.pdf.

(١٣) بيانات مأخوذة من «مركز المعلومات الدفاعية»، واشنطن العاصمة، جزء من «معهد الأمن العالمي» (٢٠٠٦).

(١٤) مقابلة في منتدى «حالة العالم في نيويورك»، أُجريت في السابع من سبتمبر ٢٠٠٠، نشرت في مجلة «صالون»، www.salon.com.

(١٥) مقابلة نشرت في مجلة «تكنولوجي ريفيو» التابعة لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، مارس، ٢٠٠٦. تعد مصداقية بوبوف قضية في حد ذاتها؛ فكونه مهاجرًا يعني أنه قد يكون لديه دوافع لتقديم اكتشافات «مهمة» للدولة الجديدة التي اختارها، ومع ذلك فإن العديد من عناصر قصصه ثبتت صحتها على يد علماء آخرين من روسيا، وتعد الجوانب العملية مقبولة ظاهريًّا من علماء الغرب. خضع بوبوف لاستجواب واسع حين هاجر، وثمة مقابلة أخرى كاشفة موجودة على موقع معهد الأمن الوطني الأمريكي على شبكة الويب، www.homelandsecurity.org.

(١٦) تقرير صادر عن لجنة «الوقاية من انتشار أسلحة الدمار الشامل والإرهاب» عنوانه «العالم في خطر»، صدر في الثالث من ديسمبر، ٢٠٠٨، www.preventwind.gov.

الفصل الرابع: ما وراء الانتخاب الطبيعي

(١) ريتشارد فورتي، «الأرض: تاريخ حميم» (نيويورك: فينتَج، ٢٠٠٥).

(٢) جيسون بوند، أستاذ علم الأحياء بجامعة إيست كارولينا، وقد سمى من قبل أحد العناكب باسم نيل يونج على اسم العازف بفرقة للروك. وفي هذا الصدد اشتكى ستيفن كولبير على شاشة التليفزيون الوطنية، وطلب أن يطلق اسمه على أحد العناكب، وفي يونيو عام ٢٠٠٨ تحققت رغبته بتسمية أحد العناكب باسم أبوستيكوس ستيفنكولبيرتي.

(٣) مأخوذ من تقرير صادر عن «الجمعية الجغرافية الوطنية» في شهر أبريل عام ٢٠٠٨، بناءً على بحث نُشر في العدد ٧٨ من دورية «أمريكان جورنال أوف هيومان جينتكس» (٢٠٠٦)، صفحة ٤٨٧.

(٤) جوشوا ليدربرج، مقالة عنوانها «شبكة الويب العالمية الميكروبية»، العدد ٢٨٨ من مجلة «ساينس» (٢٠٠٠)، صفحة ٢٩١.

(٥) طرحت النسخة الأولى من هذا البرنامج عام ٢٠٠٨، وهو مثال رائع للبيانات القوية المتاحة في متناول مؤسسة جوجل. يتتبع نظام جوجل لمراقبة الأنفلونزا تفشي مرض الأنفلونزا التقليدي في جميع أنحاء الولايات المتحدة الأمريكية عن طريق تتبع عمليات البحث ذات الكلمات الدلالية عن أعراض الأنفلونزا أو سبل علاجها. ويجري تحديث الخريطة بصورة يومية. على النقيض تشهد مراكز مكافحة الأمراض التي تعتمد على إجراء زيارات إلى مكاتب الأطباء وبيانات مماثلة تأخيرًا في تحديثها لبياناتها؛ إذ ينقضي أسبوعان قبل إجراء مهمة التحديث.

(٦) مأخوذ من محاضرة أقيمت بجامعة لندن في السابع من أكتوبر عام ٢٠٠٨، وورد الاقتباس في صحيفة «لندن تايمز» الصادرة في الثامن من أكتوبر، عام ٢٠٠٨.

(٧) لم يكن راي كرزويل أول من فكَّر في التفرد. لقد قدَّم فرنور فينج، عالم الرياضيات بجامعة ولاية سان دييجو، الفكرة في ندوة عنوانها «الرؤية-٢١» في مارس عام ١٩٩٣، ونُشرت نسخة مختصرة منها في مجلة «هول إيرث ريفيو» في إصدارها لشتاء عام ١٩٩٣.

(٨) بيل جوي، مقالة عنوانها «لمَ لا يحتاج المستقبل إلينا؟» مجلة «وايرد»، أبريل عام ٢٠٠٠. فنَّد كرزويل هذه المقالة في كتابه الذي نُشر عام ٢٠٠٥ تحت عنوان «التفرد قريب»، ونَقَدها أيضًا جون سيلي براون وبول ديوجيد، «الكتاب السنوي لسياسات العلم والتكنولوجيا الصادر عن الجمعية الأمريكية لتقدم العلوم» (واشنطن العاصمة: الجمعية الأمريكية لتقدم العلوم، ٢٠٠١)، مقالة عنوانها «رد على بيل جوي والنظرة التشاؤمية لعلماء المستقبل التقنيين».

(٩) في الواقع يعتمد عدم اليقين الخاص بحاصل ضرب مجموعة من المعاملات على أقل المعاملات من حيث اليقين؛ لذا لا تشكل دقة بعض الأرقام الفلكية في وقت مبكر من معادلة دريك أي عون إن كانت المعاملات الاجتماعية تخمينية للغاية؛ فعيِّنة واحدة من الحياة ليست كافية لتطبيق الاستقراء وتعميم توقعاته على كون كبير.

(١٠) إن كان هناك عدد كبير من الحضارات التي تحظى بعمر طويل للغاية، فسيُعلي هذا من قيمة متوسط طول عمر الحضارات. على سبيل المثال، الحضارة التي تبقى مليون عام تعادل ألف حضارة تبقى ألف عام في معادلة دريك. لو عكسنا هذا المنطق فقد يكون السائد هو غياب الحضارات باستثناء عدد قليل من الحضارات الخالدة في الأساس.

الفصل الخامس: نسيج الحياة

(١) لو كان الحظ شديد العناد مع تلك المجسات، فقد يهبط أحدها في صحراء أتاكاما في شمال شيلي، ولكونها مكانًا منخفضًا مليئًا بمسطحات من الملح والبراكين ويضم أيضًا أكبر منجم للنحاس على سطح الكوكب، فهو المكان الذي يذهب علماء الأحياء الفلكية إليه حين يريدون أن يجدوا مكانًا مماثلًا للمريخ على سطح كوكب الأرض. وعام ٢٠٠٣ اختبرت إحدى المجموعات تحت قيادة رافائيل نافارو جونزاليز التربة في منطقة شديدة الجفاف، مستخدمةً آلة مثل تلك الموجودة على مسبار «فايكنج مارس» ولم تستطع التحقق من وجود حمض نووي. على النقيض من كوكب المريخ، حيث سيكون علينا أن نبحث بجد شديد كي نجد أي شكل من أشكال الحياة، ينبغي علينا في كوكب الأرض أن نبحث بجد شديد كي «لا» نجد أي شكل من أشكال الحياة.

(٢) من الصعب أن نتخيل كيف يمكن لشريحة صغيرة للغاية من بلورة طبيعية أن تقدم دليلًا على حالة كوكب كامل بعد تشكُّله مباشرةً، لكن بلورات الزركون الواردة من تشكل صخور تلال جاك هيلز في أستراليا الغربية تحوي تركيزات لنظائر الأكسجين تشير إلى وجود الماء في حالته السائلة على الأرض منذ ٤٫٤ مليارات عام. وبما أن الكوكب قد ضم قارات وتجوية ودرجات حرارة باردة نسبيًّا منذ ذلك الوقت البعيد، فربما استضاف أيضًا حياة بيولوجية.

(٣) كان باستير يجيد استخدام الأسلوب التجريبي في سبر أغوار الغموض واختبار الفرضيات بفعالية وتميز. وقد شهد عام ١٨٥٩ نهاية نظرية التولد التلقائي حين أقامت

الأكاديمية الفرنسية منافسة لاختبار النظرية. ملأ باستير القارورات بحساء اللحم البقري ثم غلاها، تاركًا بعض القارورات مفتوحة في الهواء في حين أحكم إغلاق الأخرى. صارت القارورات المفتوحة ملوثة بالميكروبات في حين لم يحدث ذلك مع القارورات محكمة الغلق. بعد ذلك وضع باستير الحساء المغلي في قارورات ذات أعناق طويلة على شكل حرف (S)؛ بحيث يمكن للهواء الوصول إليها وتظل الميكروبات حبيسة في ثنايا العنق. لم تتعرض القارورات للتلوث طيلة أشهر تالية.

(٤) تشير الأدلة المأخوذة من الحمض النووي إلى أن عضوية دقيقة أليفة الحرارة هي أقدم سلف ميكروبي مشترك، وهي ميكروب يستطيع العيش بالقرب من نقطة غليان الماء لكن أقل منها. ومع ذلك بردت القشرة الأرضية بسرعة وبعض البيئات كانت باردة للغاية. واستكشف الباحثون أصل الحياة في ظل درجة حرارة تقترب من التجمد. وفي فبراير عام ٢٠٠٨ أوردت مجلة «ديسكفر» تقريرًا عمره ١٠ سنوات كشف فيه ستانلي ميلر عن تشكُّل سبعة أحماض أمينية مختلفة و١١ قاعدة نيوكليوتايد مختلفة عند درجة حرارة −٧٨ درجة مئوية (−١٠٨ فهرنهايت)، وهي درجة حرارة القمر يوروبا. ذكرت المقالة ذاتها أن هوك ترينكس شكَّل ما وصل طوله إلى ٤٠٠ قاعدة من قواعد الرنا في حرارة أقل من درجة التجمد؛ فعند درجات الحرارة المنخفضة تعمل البلورات على تكوين شبيكات نقية تستبعد المواد الملوثة وتزيد من سرعة تفاعلات التشكيل.

(٥) أنطونيو لازكانو وستانلي ميلر، مقالة عنوانها «كم من الوقت استغرق بدء الحياة والتطور إلى البكتيريا الزرقاء؟» دورية «جورنال أوف ماليكولار إيفولوشن»، إصدار ٣٩ (١٩٩٤)، صفحة ٥٤٦.

(٦) تعتبر الخلايا بدائية النوى أبسط أشكال الخلايا. هي لا تحتوي على نواة، وتشكَّلت لأول مرة أثناء تطور الحياة على الأرض. والبكتيريا والعتائق هما أكبر فئتين للخلية بدائية النواة. والخلايا حقيقية النوى هي خلايا أكثر تعقيدًا وتشمل النباتات والحيوانات والفطريات والطلائعيات. ليس أول ظهور لها مؤكدًا، لكنه ربما كان منذ ملياري عام، وربما يرجع لأبعد من ذلك حتى ٢٫٧ مليار عام مضت.

(٧) على النقيض، يعد وجود الحياة في مكان آخر من الأماكن المفضلة من قبل كريستوفر ماكاي — كالأودية المرتفعة والجافة للقارة القطبية الجنوبية — حافزًا للتفاؤل بأن أشكال الحياة قد تكون موجودةً على كوكب المريخ. في عام ٢٠٠٣ توصل فريق بقيادة ويليام ماهاني إلى وجود الفطريات والبكتيريا مختبئة على بعد عدة بوصات

تحت السطح الصلب والجاف للعديد من أودية القطب الجنوبي، مجلة أستروبيولوجي ماجازين على الإنترنت، الحادي عشر من يوليو، ٢٠٠٢.

(٨) مأخوذ من مقابلة مع ديانا نورثاب معروضة على موقع الويب لشبكة بي بي إس من أجل الحلقات التليفزيونية لبرنامج نوفا تحت عنوان «الحياة الغامضة للكهوف»، مأخوذة في ديسمبر عام ٢٠٠٨ من موقع www.pbs.org/wgbh/nova/caves.html.

(٩) يعد كويك مثالًا رائعًا لعالم رأى أن أفضل فرصة له هي أن يظهر إسهامه عند نقطة الاتصال ما بين المجالات التقليدية للفيزياء والأحياء والهندسة. يمكنك أن تطلق عليه اسم سمكري النانو إن شئت ذلك. لقد استخدم تقنيات الطباعة الحجرية لأشباه الموصِّلات في وضع آلاف الصمامات والقنوات والأوعية على شريحة واحدة، وبهذا اختزل عمليات كيميائية كبيرة معقدة في حجم لا يزيد عن حجم طابع البريد.

(١٠) مأخوذ من مقالة عنوانها «احتمال وجود حياة ميكروبية بديلة على الأرض» لكلٍّ من كارول كليلاند وشيلي كوبلي، العدد ٤ من دورية «إنترناشيونال جورنال أوف أستروبيولوجي» (٢٠٠٥)، صفحة ١٦٥.

(١١) بحث أجراه روبرت هازين ومساعدوه، بعنوان «التطور المعدني»، العدد ٩٣ من دورية «أمريكان مينيرالوجيست» (٢٠٠٨)، صفحة ١٦٩٣.

(١٢) مأخوذ من مقابلة مع جيمس لافلوك في «لندن جارديان»، الأول من مارس عام ٢٠٠٨.

(١٣) في أواخر ثمانينيات القرن العشرين توصل جوزيف كيرشفينك عالم الفيزياء الجيولوجية بمعهد «كالتك» إلى دليل على حدوث التجلد عند دوائر العرض الاستوائية. وبواسطة البيانات المتعلقة بالمغناطيسية الأرضية أضاف دليلًا قويًّا إلى حجته. يمكن تقدير دائرة العرض التي تتشكل عندها الصخور من ميل مغناطيسيتها الطبيعية، وقد أكد الاتجاه المغناطيسي أن الصخور المكسوة بالجليد كانت مرتبطة بخط الاستواء.

(١٤) يقدم التفاعل بين الغلاف الحيوي والغلاف الجوي أقوى المؤشرات الحيوية حين يُنظر إلى أحد الكواكب من بعيد بواسطة قياس الأطياف، ومع ذلك يمكن لكوكب أو قمر لا يشتمل على غلاف جوي مادي أن يستضيف الحياة تحت الأرض أو تحت الماء، حتى إن كان السطح أجدب بفعل الإشعاع فوق البنفسجي. لن يكشف الاستشعار عن بعد عن أي إشارات مميزة حيوية؛ إذ لا يمكن لقياس الطيف المجهري إلا أن يحدد مجموعة فرعية من الكواكب الصالحة للحياة أو المأهولة.

الفصل السادس: الأخطار التي تهدد المحيط الحيوي

(١) من السهل استيعاب الحيز المكاني العشوائي للارتطامات عما هو الحال للحيز الزماني العشوائي لها؛ فالأرض تدور حول محورها وتدور في مدار حول الشمس، وتقابل أجسامًا تصل عن طريق نطاق واسع من المسارات، بما يضمن أنه ما من مكان على سطح الأرض يكون أكثر عرضة للاصطدام بالكويكبات من غيره. ترجع عشوائية زمن وقوع الارتطامات إلى خضوعه لإحصائيات متعلقة بأحداث نادرة. فإن كان متوسط الفترات الفاصلة بين الارتطامات المدمرة هو ١٠٠ مليون عام، فذلك يعني أن نصف الفترات الفاصلة بين الارتطامات أكبر من ١٠٠ مليون عام، والنصف الآخر أقل منه، لكن توزيع الفترات الفاصلة يعادل الصفر، وهو ما يعني أن ثمة ارتطامًا قريبًا على الأرجح! على الجانب الآخر ثمة صف طويل من الفترات الفاصلة، لذا قد تبلغ الفترة الفاصلة بين الارتطامات المتتابعة ٢٠٠ أو ٣٠٠ مليون عام. يشبه هذا الفترات الفاصلة بين الحافلات في مدينة مزدحمة؛ حيث يمكن للمسئولين أن يدَّعوا على نحو صحيح نسبيًّا أن الحافلة من المحتمل بدرجة كبيرة أن تصل «في وقت قريب»، لكن خبرتنا تشير إلى أنها يمكن أن تستغرق وقتًا أطول.

(٢) تجتذب تفسيرات الأحداث الجيولوجية الحديثة من منظور الارتطامات اهتمام العناوين الرئيسية للصحف، لكن الشك لا يزال يساور معظم العلماء المعنيين بدراسة الأرض. انظر مثلًا مقالة عنوانها «الارتطامات وأمواج تسونامي العاتية والادعاءات الأخرى التي تفوق التوقعات» للكاتبَيْن نيكولاس بينتر وسكوت إيشمان، «جيولوجيكال سوسيتي أوف أمريكا توداي» (٢٠٠٨)، صفحة ٣٧.

(٣) يجسد توزيع أحجام النيازك وأعدادها (أو معدل الارتطام) على وجه التحديد قانونًا عكسيًّا للقوة، تزيد فيه أعداد الأجسام ذات الحجم الأصغر، بحيث إنه إذا كان الجسم أصغر بعشر مرات فهذا يعني أن عدده أكبر بعشرة أضعاف وهكذا (انظر الشكل ٦-١). تحتفظ هذه العلاقة بصحتها على مدى ٧ درجات من التضاعف تتراوح من ٠٫١ كيلوجرام إلى ١٠ ملايين كيلوجرام. جدير بالذكر أنه من السمات الأساسية لتوزيعات قانون القوة حقيقة أنه ما من حجم «نموذجي» لأي جسم. تُرى قوانين القوة في نطاق متنوع وواسع من الظواهر الطبيعية في الفيزياء والجيولوجيا والكيمياء والأحياء، ولقد استُكشف تميزها على نحو رائع في كتاب للفيزيائي الدنماركي بير باك بعنوان «كيف تعمل الطبيعة: علم النظم الحرجة المنظمة ذاتيًّا» (كوبرنيكوس، ١٩٩٦).

(٤) ديفيد بانكينير، زينتاو شو، ياوتياو جيانج، محررو «علم الفلك الأثري في شرق آسيا: سجلات الرصد التاريخي للمذنَّبات ووابل الشهب من الصين واليابان وكوريا» (أمهيرست، نيويورك، كامبريا برس، ٢٠٠٨).

(٥) أعدَّ «برنامج تأثيرات الارتطام بالأرض» روبرت ماركوس وجاي ميلوش وجاريث كولينز، وتجري استضافته على موقعهم على شبكة الويب بمختبر الأقمار والكواكب بجامعة أريزونا، http://www.lpl.edu/impacteffects. يضم الموقع مستندًا يوضح الافتراضات والملاحظات والعمليات الحسابية التي تشرح البرنامج بالتفصيل.

(٦) لوضع كلٍّ من عاملَي المخاطرة والتكاليف في سياقهما، قد تبلغ تكلفة النطاق الكامل لاستراتيجيات حماية كوكب الأرض من الكويكبات بضع عشرات المليارات من الدولارات، وهذا يغطي مجموعة من التليسكوبات المخصصة من أجل الكشف عن الأجسام التي تتقاطع مع مدار كوكب الأرض وسفن الفضاء التي تعمل على تدمير تلك الأجسام أو إزاحتها عن مسارها. جدير بالذكر أن تلك التكلفة تشكل جزءًا ضئيلًا للغاية من تكلفة التخفيف من مشكلة الاحترار العالمي، أو إنقاذ اقتصاديات العالم من الركود الذي شهدته من عام ٢٠٠٨ إلى عام ٢٠١٠.

(٧) إن سليب، كيه زانل، جيه كاستينج، إتش مورورويتز، مقالة عنوانها «إبادة النظم البيئية بارتطامات الكويكبات الكبيرة بكوكب الأرض في السنوات المليار الأولى له»، العدد ٣٤٢ من مجلة «نيتشر» (١٩٨٩)، صفحة ١٣٩.

(٨) انظر على سبيل المثال بيتر وارد، مقالة عنوانها «الانقراض الجماعي: الميكروبات تنتقم»، مجلة «نيو ساينتيست»، إصدار ٢٦٣٢، ٩ فبراير عام ٢٠٠٨.

(٩) جيه سيزار وزملاؤه، مقالة عنوانها «تفسير بديل للتعدين الحيوي الناتج عن بكتيريا النانو»، العدد ٩٧ من جلسات الأكاديمية الوطنية للعلوم (بروسيدنجز أوف ذي ناشيونال أكاديمي أوف ساينسز) (٢٠٠٠)، صفحة ١١٥١١.

الفصل السابع: العيش في مجموعة شمسية

(١) معظم الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية التي جرى اكتشافها في العقد التالي لأول اكتشاف لها عام ١٩٩٥ كانت تماثل في كتلتها كتلة كوكب المشتري أو أكبر، التي تزيد ٣١٨ مرة عن كتلة الأرض. لم يعكس هذا ندرة الكواكب الأصغر

حجمًا بقدر ما عكس انعدام حساسية تقنية دوبلر حيال اكتشاف الكواكب الأقل كتلةً. انتقلت التحسينات التي طرأت على تقنية دوبلر بحد الاكتشاف لما يوازي كتلة أورانوس أو أقل، والتي تزيد ١٥ مرة عن كتلة الأرض. وفي السنوات الخمس أو الست الماضية، اكتُشفت أغلب الكواكب الأقل كتلةً الموجودة خارج المجموعة الشمسية بواسطة تقنية العدسية الدقيقة، إذ يُكبر كوكب خفي على نحو وجيز ضوء أحد النجوم المارة الموجودة في الخلفية طبقًا للتأثير الذي تنبأت به نظرية النسبية العامة لأينشتاين. وفي أبريل عام ٢٠٠٩ اتضح أن كتلة كوكب يطلق عليه اسم «جلييزا ٥٨١ إي» تعادل ١,٩ مرة قدر كتلة كوكب الأرض. لقد حلت الحقبة التي نستطيع فيها اكتشاف الكواكب المشابهة لكوكبنا.

(٢) نشر جوت حجة «يوم الحساب» التي يمتد عمرها لعقود والتي عرضها عالم الفلك براندون كارتر. اعتمدت الحجة على المنطق الذي يقوم عليه مبدأ كوبرنيكوس بخصوص فكرة أن مكاننا في تاريخ جميع البشر ليس مميزًا أو فريدًا.

(٣) ديفيد جرينسبون في «مناقشة حول الأرض النادرة، الجزء الثالث: الحياة المعقدة»، www.space.com، ٢٢ يوليو ٢٠٠٢.

(٤) معلومة مأخوذة من مقالة يكثر الاستشهاد منها للكاتب كارك هاوب عنوانها «كم عدد الناس الذين عاشوا على الإطلاق على كوكب الأرض؟» العدد ٣٠ من دورية «بوبيوليشن توداي» (٢٠٠٢)، صفحة ٣. هذه المقالة تدحض ادعاءً قديمًا ذهب إلى أن معظم الناس الذين عاشوا على الأرض هم الأحياء اليوم، والنسبة المئوية الصحيحة هي ٥ أو ٦ في المائة فقط.

(٥) عارض المتشككون الرأي الذي ذهب إلى أن الافتراض بأننا لا نعيش في وقت خاص في تاريخ كل البشر هو افتراض قوي، وذهبوا إلى أنه ليس مثبتًا مثل الافتراض بأن مكاننا في الكون ليس مميزًا. ومن البساطة والسذاجة إلى حد ما أن يقال إن نوعًا من الأنواع من المحتمل أن يعيش ضعف عمره الحالي؛ لأن هذا يجب أن ينطبق على النمور والدببة القطبية والضفادع الذهبية والعديد من الأنواع الأخرى التي توشك على الانقراض.

(٦) دي فالنسيا، دي ساسيلوف، آر أوكنيل، مقالة عنوانها «نماذج مفصلة للكواكب الضخمة المماثلة للأرض: إلى أي مدى يمكننا أن نستنتج خصائص جماعية؟» العدد ٦٦٦ من دورية «ذي أستروفيزيكال جورنال» (٢٠٠٧)، صفحة ١٤١٣.

(٧) على الرغم من أن الأقمار الأكبر حجمًا تنافس الكواكب الأصغر حجمًا في الحجم والكتلة، فهذا يرجع إلى أن الكواكب التي تدور حولها تلك الأقمار كبيرة للغاية. فالأقمار دائمًا ما تكون أصغر حجمًا بكثير من الكواكب التي تدور حولها.

(٨) روبرت بابالاردو في «مهمة على سطح يوروبا: مفقود في ميزانية ناسا»، www.space.com، ٧ فبراير عام ٢٠٠٦.

(٩) آدم شومان ورينو مالهوترا، «أقمار جاليليو»، العدد ٢٩٦ من مجلة «ساينس» (١٩٩٩)، صفحة ٧٧.

(١٠) يمكن تبرير اقتراب كلا الرقمين من نسبة ١٠٠ بالمائة. لقد تشكلت الحياة على كوكب الأرض بسرعة وانتشرت في كل مكمن بيئي يمكن تصوره تقريبًا بينما كان الكوكب غير صالح للحياة للغاية، وهو ما يتوافق مع فكرة الحياة كصفة غالبة بالكواكب الصالحة للحياة. قد يكون التعقيد وتعدد الخلايا نتيجتين طارئتين للتطور، لكن إن كانتا تنتجان بصورة طبيعية عن التطور على مدار مليارات الأعوام، فقد يصل عدد الكواكب التي تشمل أشكال الحياة واسعة النطاق إلى المليارات في كل مجرة من مليارات المجرات الموجودة في الكون.

(١١) هانز ريكمان ومعاونوه، مقالة عنوانها «إدخال مذنبات سحابة أورت: الدور الأساسي للاضطرابات النجمية»، العدد ١٠٢ من دورية «سيليستيال ميكانيكس آند داينامكال أسترونومي» (٢٠٠٨)، صفحة ١١١.

(١٢) بحث معد بواسطة فريق عمل بقيادة جونتر كورشينك، العدد ٩٣ من دورية «فيزيكال ريفيو ليترز» (٢٠٠٤)، صفحة ١١٧٠.

(١٣) آر كاساديو، إس فابي، بي هارمز، «عن احتمال وقوع كارثة نشوء الثقب الأسود في سيناريو العالم الغشائي الأعوج في مصادم الهادرونات الكبير». أرشيف الأبحاث العلمية: ٠٩٠١,٢٩٤٨، عام ٢٠٠٩. ثمة فرضية تتصف بأنها غير قابلة للتصديق بدرجة كبيرة، وهي ترتبط بهذه الملحوظة الختامية على نحو ملائم، وتقضي بأن العلماء الذين يجرون التجارب على المادة يمكنهم إحداث «عوالم صغيرة» من أبعاد إضافية يمكنها أن تلتهمنا نحن والأرض. النظرية والآلية المرتبطة بها مشكوك فيهما للغاية حتى إن الأمر ليشبه القلق بشأن اصطدامنا بكون بديل افتراضي ونادر على نحو استثنائي وإبادته لنا في طوفان من أشعة جاما.

(١٤) إن جهلنا بأسباب وآليات الكوارث النجمية هو قضية في حد ذاته. ثمة قضية على نفس القدر من الأهمية، وهي مشكلة ربط الأحداث السماوية القديمة بالأحداث

الأرضية القديمة. هناك عدة تفسيرات محتملة للانقراضات من أي نوع، ومن الصعب استبعاد التغيرات الجيولوجية أو البيئية؛ لأن تقسيم الصخور إلى طبقات لا يتيح دقة في تقدير العمر بأفضل من ١٠ آلاف عام. ذلك ليس جيدًا بما يكفي لإثبات أن المحفز كان فوريًّا وفلكيًّا بدلًا من كونه تدريجيًّا وجيولوجيًّا. حين تموت النجوم الضخمة يبرد الغاز الساخن الذي تلفظه في النهاية ويتلاشى، وتخلف وراءها ثقوبًا سوداء أو نجومًا نيوترونية مظلمة ومن الصعب اكتشافها، وحين تنفجر تنجرف بعيدًا عن مكانها في السماء بفعل حركات النجوم داخل مجرة درب التبانة. وجدير بالذكر أن التقدم في تناول هذا الموضوع ربما سيكون بطيئًا ومحل جدال.

(١٥) أدريان ميلوت ومعاونوه، العدد ٣ من دورية «إنترناشيونال جورنال أوف أستروبيولوجي» (٢٠٠٤)، صفحة ٥٥.

(١٦) بيتر توتهيل ومعاونوه، العدد ٦٧٥ من دورية «ذي أستروفيزيكال جورنال» (٢٠٠٨)، صفحة ٦٩٨.

الفصل الثامن: موت الشمس

(١) تعرض الارتباط الذي رآه هيرشل بين غياب البقع الشمسية وارتفاع أسعار القمح للسخرية والتسفيه والتدقيق المتواصل، لكنه لم يتلاشَ. في عام ٢٠٠٣ نشر كلٌّ من ليف بُستيلنيك وجريجوري دين بحثًا يحوي تحليلًا إحصائيًّا توصل إلى أن الارتباط بلغت نسبته ٩٩٫٨ بالمائة (تأثير النشاط الشمسي على سوق القمح في إنجلترا في العصور الوسطى، جلسات المؤتمر الدولي للإشعاع الكوني بروسيدنجز أوف إنترناشيونال كوزميك راي كونفرنس، صفحة ٤١٣١). يتصف القمح بتفرده لأنه ثمة ٨٠٠ عام من سجلات الأسعار المتواصلة ترد من الأسواق الأوروبية. وعلى نحو مثير للفضول وصلت الأسهم المستقبلية للقمح لسعر عالٍ غير مسبوق عام ٢٠٠٨ بالتزامن مع اقترابنا من فترة غياب البقع الشمسية.

(٢) لوقت طويل بعد التخمين الأساسي الذي قدمه ميلانكوفيتش، لم تكن البيانات جيدة بدرجة كافية لتأكيد التأثيرات. فالعينات اللُّبية من البحار العميقة صارت متاحة في سبعينيات القرن العشرين، وتشكَّل مجال التأثيرات الفلكية على المناخ بفضل مقالة مؤثرة لكل من هايز وإمبري وشاكلتون عنوانها «تباينات مدار الأرض: محدد سرعة انطلاق العصور الجليدية» (مجلة «ساينس»، عام ١٩٧٦، العدد ١٩٤، صفحة ١١٢١).

ما من تفسير للفترة الانتقالية التي وقعت منذ ٣ ملايين عام من التباينات غير المنتظمة إلى الدورتين الرئيسيتين. نظريًّا، يمكن استخدام نظرية ميلانكوفيتش في التنبؤ بالتغير المناخي المستقبلي، مع استبعاد التأثيرات البشرية. وتنبأ برجر ولوتر باستمرار المناخ الدافئ الحالي لمدة ٥٠ ألف عام أخرى في مقالة عنوانها «فترات طويلة مستقبلية على نحو استثنائي ما بين الدورات الجليدية»، العدد ٢٩٧ من مجلة «ساينس» (٢٠٠٢)، صفحة ١٢٨٧.

(٣) إن مستقبل الأقزام البيضاء هو مسألة تخمينية لأن الكون يبلغ من العمر ١٣٫٧ مليار عام فحسب؛ لذا ما من نجوم قزمة بيضاء بردت لفترة أطول من ذلك الوقت. وفي الواقع يمكن عكس المنطق بحيث يُستخدم معدل تبريد الأقزام البيضاء لوضع حد لعمر الكون، وهو ما يتسق على نحو مفاجئ مع تقييمات معدل التمدد وإشعاع الخلفية الميكروني. لن تتحول الأقزام البيضاء إلى اللون الأسود طيلة تريليونات عديدة من الأعوام. ولا يجب خلط الأقزام السوداء بالثقوب السوداء التي تبقى حين تموت النجوم الضخمة وبالأقزام بنية اللون التي هي نجوم ذات كتلة منخفضة (أقل من ٨ بالمائة من كتلة الشمس)، حتى إن درجة حرارتها تضعها أسفل الحد الأدنى للاندماج النووي.

(٤) مقابلة أجريت مع ستيفن هوكينج في إذاعة «بي بي سي راديو ٤» حسبما وردت في جريدة «لندن دايلي ميل»، ١ ديسمبر ٢٠٠٦.

(٥) تشارلز بينيت وزملاؤه، مقالة عنوانها «نقل حالة كمية غير معروفة عن طريق قناة تقليدية مزدوجة وقناة أينشتاين بودولسكي روزن»، العدد ٧٠ من دورية «فيزيكال ريفيو ليترز» (١٩٩٣)، صفحة ١٩٨٥. يتم الأمر على النحو الآتي: تتشارك آلي (أ) وبراد (ب) في بت متشابك من المعلومات (أب) الذي يمكن أن يوجد بأربع حالات. و(ج) هو البت الذي ترغب آلي في نقله إلى براد. تطبق آلي عملية حسابية على البتات (أج) وتقيس النتيجة للحصول على اثنين تقليديين من البتات مع تدمير الاثنين الآخرين في العملية. وبسبب التشابك يحتوي بت معلومات براد الآن على معلومات عن البت (ج)، لكن المعلومات عشوائية ويمكن أن يكون البت (ب) الخاص ببراد في أي من الحالات الأربعة، وهو ما يمنعه من الحصول على أي معلومات عن (ج). وترسل آلي إلى براد اثنين من البتات المقاسة التي تحدد أيًّا من الحالات الأربعة التي يتخذها براد. يطبق براد عملية حسابية بناء على أي من البتات التي ترسلها آلي إليه، محولًا البت الخاص به إلى نسخة مطابقة من البت (ج). وهكذا ينجح الأمر!

(٦) إس أولمستشينك وزملاؤه، «النقل الكمي ما بين بتات المادة البعيدة»، العدد ٣٢٣ من مجلة «ساينس» (٢٠٠٩)، صفحة ٤٨٦.

(٧) إن مهمة تغيير كوكب المريخ بدرجة كافية بحيث يستضيف كائنات البيئات القاسية مهمة ضخمة ومكلفة للغاية، وتغييره بدرجة كافية لأن يدعم أماكن إقامة بشرية سيكون باهظًا للغاية، حتى إنه قد يلتهم جزءًا مهمًّا من مواردنا العالمية إن احتجنا للقيام بذلك في غضون قرن من الزمان. يعتقد الكثيرون أن الفكرة برمتها خاطئة؛ فإن واجهنا مشكلات مع غلافنا الحيوي سيكون الخيار الأقل تكلفة إلى حد بعيد هو أن نبني مساكن محكمة الغلق ومدنًا ذات قباب على سطح الأرض أو تحت الأرض بدلًا من بنائها على المريخ، إلى جانب أن شحن أكثر من مائة مستوطن أو ما يقارب ذلك إلى المريخ قد يكون أمرًا باهظ التكلفة على نحو لا يحتمل. ودون تقنيات غير متوقعة تساعدنا فإن أفضل رهان لنا من أجل المستقبل الوشيك هو أن نُبقي الأرض صالحة للحياة أو نبحث عن ملاذ آمن آخر على كوكبنا.

(٨) يقلق خبراء التكنولوجيا بشأن كيف يمكن تحقيق هذا الأمر، لكنهم نادرًا ما يسألون إن كان يجب القيام به. والاعتبارات الأخلاقية لمسألة تغيير أحد الكواكب ليناسب أغراضنا على نحو لا يمكن الرجوع فيه تستحق أيضًا وضعها في الاعتبار، وحتى بين العلماء ثمة مجموعة متنوعة من وجهات النظر: يعتقد كريستوفر ماكاي أنه واجب ولزام علينا أن ننشر الحياة البيولوجية إلى الأماكن التي تفتقر إلى الحياة، ويعتقد وودرف سوليفان، عالم الأحياء الفلكية بجامعة واشنطن، أن العوالم الغريبة يجب الحفاظ عليها في حالاتها الطبيعية مثل المتنزهات الطبيعية.

(٩) دي كوريكانسكي وجي لافلين وإف آدامز، مقالة عنوانها «الهندسة الفلكية: استراتيجية لتعديل المدارات الكوكبية»، العدد ٢٧٥ من دورية «أستروفيزيكس آند سبيس ساينس» (٢٠٠١)، صفحة ٣٤٩، وتقرير في صحيفة «نيويورك تايمز»، ١٧ يونيو ٢٠٠١.

(١٠) دونا هاراواي، مقالة عنوانها «بيان الكائنات الآلية: العلم والتكنولوجيا والأنثوية الاشتراكية في أواخر القرن العشرين»، في كتاب «القردة والكائنات البشرية الآلية والمرأة: إعادة ابتكار الطبيعة» (نيويورك: روتليدج، ١٩٩١)، صفحة ١٤٩.

(١١) إيه ساندبيرج وإن بوستروم، «محاكاة المخ بالكامل: خطة عمل»، من «التقرير الفني» رقم ٢٠٠٨–٣، «معهد مستقبل البشرية»، جامعة أكسفورد.

الفصل التاسع: موطننا المجرِّي

(١) نظرًا لأن السماء مستقرة في الأغلب، حملت التباينات المؤقتة التي تطرأ عليها أهمية عظيمة من وجهة نظر الثقافات الإنسانية. فالكواكب تتحرك بين نمط من النجوم الثابتة؛ لذا كانت محل حديث الأساطير والتنجيم لآلاف الأعوام. والأحداث النادرة التي يسطع فيها نجم على نحو مرئي أو ينتهي كمستعر أعظم تترك تأثيرات عميقة لدى الأشخاص الذين ليس لديهم تفسير علمي للظواهر. فالمسافات الكبيرة الممتدة إلى النجوم تعني أن حركاتها ليست مرئية على مدار حياة الإنسان؛ لذا تعد الكوكبات النجمية «نتاجًا صناعيًّا» ثقافيًّا يُنقل من جيل لآخر.

(٢) على الرغم من رفض أرسطو للفكرة، تخبرنا أعماله بأن أنكساجوراس وديموقريطوس كليهما ذهبا إلى التفكير في أن مجرة درب التبانة ربما تتكون من نجوم بعيدة. ويبرز تاريخ التفكير الأوَّلي بشأن مجرة درب التبانة الدور المهم للمفكرين العرب: ففي بداية القرن العاشر اقترح عالم الفلك الفارسي أبو الريحان البيروني أن مجرة درب التبانة مكونة من نقاط فردية من الضوء، وأن الانكسار في الغلاف الجوي للأرض تسبب في ضبابية ضوء كل نجم. وبعد ثلاثمائة عام اعتقد ابن القيم الجوزية أن مجرة درب التبانة مكتظة بمصادر الضوء التي كان حجم كل واحد منها أكبر من حجم الكوكب.

(٣) قدمت مجرة درب التبانة الدلالة الأولى على أن الكون يقع تحت هيمنة شكل مظلم من المادة. بالنظر إلى الخارج عبر القرص يستطيع علماء الفلك تحديد سرعة النجوم أثناء دورانها في القرص؛ ذلك وتتنبأ نظرية الجاذبية بأن السرعات يجب أن تنخفض مع الاقتراب من الحد الخارجي للمجرة، وهو ما يماثل انخفاض سرعة الكواكب الخارجية بالتناسب مع بعدها عن الشمس. بدلًا من ذلك بقيت السرعات المدارية ثابتةً حتى الحد المرئي من المجرة؛ مما يشير إلى وجود جاذبية صادرة من مادة غير مرئية توجه حركة النجوم. صار التأثير نفسه الآن مرئيًّا في مئات المجرات من كل الأنواع، فالمادة المظلمة سمة شائعة للكون. وفي مجرة درب التبانة تتصف عمليات الرصد بأنها حساسة بدرجة كافية لاستبعاد احتمالية أن يتسبب الغبار والصخور والنجوم الفاشلة (أو الأقزام البنية) والثقوب السوداء في هذا التأثير. وهذا يجعل من الجسيمات الضخمة دون الذرية ضعيفة التفاعل التفسير الأكثر قبولًا من الناحية الظاهرية.

(٤) على الرغم من أن الأمر يبدو غريبًا، فإن الدليل على الثقب الأسود الهائل الموجود في مركز مجرة درب التبانة يماثل في قوته الدليل على وجود الثقوب السوداء العادية التي

تتشكل حين تموت النجوم الهائلة. تعطي الحركات المدارية للنجوم بالقرب من المركز تقديرًا قويًّا للكتلة، ويتصف تركيز المادة بأنه عالٍ للغاية لأن يكون ناتجًا عن مجموعة من النجوم. تهدف عمليات الرصد الحالية التي تستخدم تليسكوب كيك في هاواي إلى أن توضح للمرة الأولى أن الثقوب السوداء محاطة بأفق حدث يميز حد الرؤية والمعلومات.

(٥) تزين «محاكاة الألفية» غلاف مجلة «نيتشر»؛ انظر مقالة لكلٍّ من فولكر سبرنجل، سايمون وايت، كارلوس فرينك ومعاونيه، عنوانها «عمليات محاكاة تشكل المجرات والنجوم الزائفة وتطورها وتجميعها»، العدد ٤٣٥ (٢٠٠٥)، صفحة ٦٢٩.

(٦) لا تزال المعيقات الفنية ومواطن قصور عمليات المحاكاة لها تأثير كبير. تخضع عملية تشكيل البنى لسيطرة المادة المظلمة المهيمنة، لكن تضمين المادة العادية أمر جوهري؛ لأنها هي ما يؤدي إلى وجود النجوم والمجرات المرئية، لكن تفاصيل علم الفيزياء الفلكية المعقدة المرتبطة بتشكل النجوم لا يمكن تضمينها بعد في أي عمليات محاكاة؛ لأنه يجب تغذيتها بخصائص المجرات «يدويًّا». وتحاول عمليات محاكاة أخرى أن تتضمن الغاز، وأن تكون أكثر واقعية بشأن الطريقة الفعلية التي تتشكل بها المجرات. على الرغم من أن نموذج تشكل البنى هو نموذج «تصاعدي»، مما يعني أن الأجسام الصغيرة تتشكل أولًا تليها الأجسام الأكبر حجمًا، لا بد أن تفسر عمليات المحاكاة تلك الظاهرة التي جرى رصدها ويطلق عليها اسم «الانخفاض»، وذلك حين تمر المجرات الكبيرة بأنشط مراحل تشكل النجوم في وقت مبكر، ولا تشكل المجرات الصغيرة النجوم إلا في وقت متأخر. وعلى الرغم من كل التحديات، فعمليات المحاكاة تتفق على نحو طيب إلى حد ما مع عمليات الرصد وتدعم النموذج الكوني الذي تحكم فيه المادة المظلمة والطاقة المظلمة معدل التمدد الكوني.

(٧) ثمة لغز واحد متبقٍّ بخلاف طبيعة المادة المظلمة نفسها؛ ألا وهو السبب وراء ظهور مجرة درب التبانة بهذا المظهر شديد «التكتل» في المادة المظلمة، والسبب وراء اشتمال عدد قليل من تكتلات المادة المظلمة الصغيرة في الكون على أي نجوم مرئية. يُخمن علماء الفلك بأن الغاز المتساقط في جيوب المادة المظلمة العديدة الأصغر حجمًا يبقى شديد السخونة على نحو يحول دون تكثفه على هيئة نجوم، تاركًا تلك المناطق مظلمة.

(٨) يبدأ استيعاب الاندماج النووي بحقيقة مناقضة للبديهة، وهي أن إجمالي كتلة البروتونين والنيوترونين التي تشكِّل جميعًا نواة الهيليوم أقل من كتلة الجسيمات الأربعة

الداخلة في تكوين النواة. كيف يكون الكل أقل من مجموع أجزائه؟ تتميز نواة الهيليوم بأنها مستقرة، وهو ما يعني أنها لا تنقسم من تلقاء نفسها إلى الأجزاء المكونة لها. ففي الواقع هي تحتاج إلى طاقة لكي تُقسم نفسها في مواجهة القوى التي تبقي على أجزائها معًا. ولا تظهر الطاقة أو تتلاشى تلقائيًّا؛ لذا تكون الطاقة السابقة للانقسام مماثلة للطاقة التالية له، وهذا يعني أن طاقة نواة الهيليوم بالإضافة إلى الطاقة المطلوبة لتقسيم أجزائها تعادلان طاقة أجزائها المنفصلة. وبالتعبير عن ذلك عن طريق عملية حسابية بسيطة: تعادل طاقة نواة الهيليوم طاقة أجزائها مطروحًا منها الطاقة اللازمة لانقسامها، وتلك الطاقة السالبة يطلق عليها طاقة الربط، ولأن أينشتاين بيَّن أن الكتلة تعادل الطاقة فإن نقص الطاقة يعادل نقصًا (ضئيلًا) في الكتلة، ومن ثمَّ يكون الكل أقل من مجموع أجزائه.

(٩) تي جي كوكس وإيه لويب، مقالة عنوانها «التصادم ما بين مجرتي درب التبانة والمرأة المسلسلة»، العدد ٣٨٦ من «الملاحظات الشهرية للجمعية الفلكية الملكية» (٢٠٠٧)، صفحة ٤٦١.

(١٠) إيه جيس ومعاونوها، مقالة عنوانها «المدارات النجمية حول الثقب الأسود في مركز المجرة»، العدد ٦٢٠ من دورية «ذي أستروفيزيكال جورنال» (٢٠٠٥)، صفحة ٧٤٤، وآر جينزل ومعاونوه، مقالة عنوانها «النتوء النجمي حول الثقب الأسود العملاق في مركز المجرة»، العدد ٥٩٤ من دورية «ذي أستروفيزيكال جورنال» (٢٠٠٣)، صفحة ٨١٢.

(١١) في هوبكنز ومعاونوه، مقالة عنوانها «إطار عمل كوني للتطور المشترك للنجوم الزائفة والثقوب السوداء العملاقة والمجرات البيضاوية. (١) اندماج المجرات ونشاط النجوم الزائفة»، العدد ١٧٥ من ملحق دورية «ذي أستروفيزيكال جورنال» (٢٠٠٨)، صفحة ٣٥٦.

(١٢) يشاهد علماء الفلك مجرد لقطة لنشاط المجرات في حقب مختلفة؛ فالفرصة لا تتاح لهم لمتابعة تطور أي مجرة بعينها. وتوضح الدراسات أن ذروة عصر النجوم الزائفة كانت منذ ١٠ مليارات عام، حين كان هناك نجوم زائفة تفوق في وفرتها ما هي عليه الآن بمئات المرات؛ لذا لا بد أن مراكز العديد من المجرات الكبيرة تعاني حاليًّا حرمانًا من الغاز، كما هو الحال الآن مع مجرة درب التبانة. وفي الكون القريب لا توجد مجرات ساطعة تستضيف نجمًا زائفًا إلا بنسبة مجرة واحدة بين كل ألف مجرة. ونظرًا

لأن ثمة دليلًا على أن كل المجرات الساطعة تئوي ثقوبًا سوداء هائلة، فلا بد أن تقضي واحدًا من ألف من وقتها فحسب في حالة «السطوع»؛ أي ما يعادل ١٠ مليون عام تقريبًا في كل مرة.

الفصل العاشر: شيخوخة مجرة درب التبانة

(١) السبب هو أن معدلات الاندماج النووي شديدة الحساسية لدرجة الحرارة؛ فالنجوم الأكثر ضخامةً يكون لها جاذبية أكبر، مما يخلق درجات حرارة أعلى في مراكز تلك النجوم؛ الأمر الذي يؤدي إلى الاندماج النووي السريع والفعال. يفوق معدل استهلاك الوقود بكثير الوقود المتاح في النجم الضخم، وهذا هو السبب وراء قصر حياة النجوم الضخمة مقارنةً بمثيلاتها منخفضة الكتلة. ففي أي مجتمع من النجوم تموت النجوم الضخمة والساخنة على نحو أسرع؛ لذا يصير مجتمع النجوم أكثر عتامة وأكثر اصطباغًا باللون الأحمر مع تقدمه في العمر.

(٢) جرى وضع هذه النسب عن طريق توزيع كتلة النجوم أثناء تشكلها، وهو الأمر الذي يُعتقد بأنه يشكل علاقة قياسية لقانون القوة جرى توضيحها لأول مرة على يد عالم الفيزياء الفلكية بجامعة برنستون، إدوين سالبيتر. وندرة النجوم عالية الكتلة أثناء وقت التشكل يتحول إلى ندرة للنجوم النيوترونية والثقوب السوداء بعد استنزاف مصادر الطاقة.

(٣) تقوم التصورات الكونية الحديثة على افتراض أن قوانين الطبيعة لا تتباين من مكان لآخر أو من زمان لآخر. وافق إدوين هابل على افتراض «وحدة الطبيعة» حين قال إن تحديده للمسافة الممتدة إلى مجرة المرأة المسلسلة اعتمد على حقيقة أن النجوم المتغيرة تنتهج في مجرتنا السلوك نفسه الذي تنتهجه في أي مجرة أخرى. ويقبل واضعو التصورات الكونية حقيقة أن الظروف المادية في الكون تتغير مع الزمان والمكان — درجة الحرارة والكثافة والضغط والتركيب الكيميائي — لكنهم يفترضون أن البنى المادية الأساسية لا تتغير، فلو أنها تتغير، لصار فهم الكون أكثر صعوبة. على الجانب الآخر ليس من الضروري أن تتفق حقيقة تركيب الكون مع مفهومنا عنه.

(٤) طيلة تاريخ علم الفلك الحديث الممتد عبر ٤٠٠ عام كاملة شاهدنا الكون عبر الأشعة الكهرومغناطيسية مستخدمين تليسكوبات ضوئية، وشاهدناه في السنوات الخمسين الماضية مستعينين بتليسكوبات ذات أطوال موجية أطول وأقصر، لكن كيف

سيبدو الكون لو كان لدينا «أعين» تسجل الجاذبية؟ سنعرف ذلك؛ إذ سيبدأ الإصدار المتقدم من المرصد المختص بكشف موجات الجاذبية عبر التداخل الليزري (ليجو) عام ٢٠١٤ في البحث عن موجات الجاذبية. وستستطيع هذه الآلة الدقيقة للغاية اكتشاف النجوم النيوترونية الثنائية المتحدة إلى مسافة تبلغ مليار سنة ضوئية، والثقوب السوداء الثنائية المتحدة إلى مسافة تبلغ ٥ مليارات سنة ضوئية. تقع آلاف المجرات ضمن منطقة الاكتشاف؛ لذا حتى لو كانت الأحداث نادرة فمن المفترض أن تُكتشف أسبوعيًّا أو حتى يوميًّا.

(٥) قد يكون أمرًا مبررًا أن يبدي رجال الأعمال متابعة دءوبة للنتيجة النهائية، ومن ثم إظهار التحفظ بشأن المستقبل، لكن تنبؤات كُتَّاب الخيال العلمي ليست أكثر قابلية للاعتماد عليها؛ ففي مقابل كل نموذج مثل آرثر سي كلارك يتنبأ بأقمار الاتصالات يوجد العديد من كتاب الخيال العلمي الذين تنبئوا بقدوم حضارات مرتحلة في الفضاء لم نَرَها بعد. قد يكون الأمر الأكثر إفادة هو أن نذكِّر أنفسنا بقوانين التنبؤ الثلاثة لكلارك: (١) حين يصرح عالم بارز كبير في السن أن شيئًا ما ممكن، فمن شبه المؤكد أنه محق، لكن حين يصرح بأن شيئًا ما غير ممكن فمن شبه المؤكد أنه مخطئ. (٢) الطريقة الوحيدة لاكتشاف حدود الممكن هي المخاطرة قليلًا بتخطي تلك الحدود للوصول إلى المستحيل. (٣) أي تقنية متقدمة على نحو كافٍ هي تقنية لا يمكن تمييزها عن السحر.

(٦) ورد هذا الاقتباس في حديث لتشارلز ستروس في اليوم المفتوح لشركة الاستشارات التكنولوجية للجيل التالي في ميونخ، وجرى نسخه في مدونته المنشورة في ١٤ مايو عام ٢٠٠٧، تحت عنوان «يوميات تشارلي» على هذا الموقع: www.antipope.org.

(٧) كان فون نيومان شخصًا واسع الاطلاع على نحو مذهل، وله إسهامات رئيسية في مجال الرياضيات والفيزياء وعلم الكمبيوتر. كان رائدًا لمجال ميكانيكا الكم، ولعب دورًا رئيسيًّا في مشروع مانهاتن، وجدير بالذكر أنه طبق مفاهيمه على مجال الاقتصاد ونظرية الألعاب. وهو ليس عالم رياضيات جافًّا، لكنه مشهور بما يتصف به من روح دعابة صارخة بذيئة، وكان مصدرًا للخطر خلف عجلة القيادة؛ إذ كان يميل إلى القراءة أثناء القيادة. ووصف حادثة واحدة بهذه الطريقة: «كنت أسير في الطريق. كانت الأشجار عن يميني تمر بجواري على نحو منتظم بسرعة ٦٠ ميلًا في الساعة. فجأة اعترضت إحداها مساري.»

(٨) اقتباس جاء على لسان بول ديفيز، واستشهد به ميشيو كاكو في مقالته التي تحمل عنوان «صانعو النجوم»، العدد ٧ من مجلة «كوزموس» (٢٠٠٦)، صفحة ١٢.

(٩) يحب الباحثون بمعهد «البحث عن كائنات ذكية خارج الأرض» بشدة أن يستشهدوا بهذا القول المأثور لكارل ساجان: «إن غياب الدليل ليس دليلًا على الغياب.» وهو مأخوذ من «أدوات كشف المغالطات» المعنية بالكشف عن الحجج الزائفة أو الواهمة. ويدرج كارل هذا القول كمغالطة للمنطق في كتابه «عالم تسكنه الشياطين». فعدم اكتشاف الكائنات الغريبة هو كذلك فحسب — مجرد فشل في اكتشافها — وهناك عدة تفسيرات ممكنة للفشل في اكتشافها، وأحد هذه التفسيرات هو عدم وجودها. وربما يكون هناك كم كبير من التفسيرات الممكنة، حتى إن خيالنا المحدود يعجز عن الوصول إليها جميعًا. لا يعد الصمت أو غياب الدليل اختبارًا لهذه التفسيرات الممكنة، ونحن نحتاج إلى تصميم تجارب مختلفة أفضل لاختبارها.

الفصل الحادي عشر: نهاية الكون

(١) كان هابل من البارزين في مجال تخصصه، لكن قياساته لتقدير مساحة الكون وتمدده كانت في البداية غير موفقة بالمرة، يرجع ذلك في الغالب إلى أنه لم يفهم أن هناك نوعين من النجوم القيفاوية المتغيرة، فضلًا عن أنه كان كثيرًا ما يقيس مجموعات كاملة من النجوم في الوقت الذي اعتقد فيه أنه يقيس نجومًا فردية. والقياسات الأولية التي أجراها هابل جعلت مجرة درب التبانة تبدو وكأنها أكبر حجمًا من أي مجرة أخرى تقريبًا، وأدت إلى معدل تمدد أشار ضمنيًّا إلى أن عمر الكون بلغ ملياري عام فحسب. ونظرًا لأن تحديد عمر الصخور عن طريق النشاط الإشعاعي أفاد أن عمر كوكب الأرض بلغ ٣ مليارات عام، فقد ظهرت معضلة أن يكون عمر الكون أصغر من عمر الأجسام داخله! لقد بالغ هابل في تقديره لمعدل تمدد الكون بمعامل قيمته ٧، لكن هذا الخطأ الذي اقترفه في البداية لم يؤثر على سمعته مطلقًا.

(٢) يفترض علم الكونيات افتراضًا قويًّا أن الكون متجانس ومتكافئ الاتجاهات. والتجانس هو الإقرار بأن الجزء الذي نعيش عليه في الكون لا يختلف — في المتوسط — عن أي جزء آخر، ومن ثم فإن التمدد الذي نراه لا يختلف عن ذلك الذي يراه أي مراقب آخر من أي مجرة بعيدة. يعد اختبار تجانس الكون أمرًا صعبًا إلى حد ما؛ لأنه ليس بمقدورنا السفر إلى مكان بعيد بصورة كافية لنشاهد بأنفسنا أن أجزاء الكون جميعها متماثلة، فضلًا عن أننا إذا نظرنا في الفضاء فإننا نرجع بالزمان للوراء، ومن ثمَّ فإننا نرى الأماكن البعيدة في حالتها السابقة كما كانت في الماضي وليس في حالتها

الحالية في الوقت الحاضر. أما عن تكافؤ اتجاهات الكون، فيعني أن اتجاهات الكون لا يختلف بعضها عن بعض. وقد جرى اختبار ذلك الافتراض جيدًا عن طريق حصر المجرات البعيدة بالنظر في اتجاهات مختلفة بعيدًا عن كوكب الأرض.

(٣) من الغازات الأخرى التي انبعثت أيضًا في الانفجار العظيم الهيليوم ٣ والديوتريوم والليثيوم، ووجود مثل تلك الغازات بوفرة في الكون يتوافق بصورة كبيرة مع تنبؤات نموذج الانفجار العظيم. لم ينتج الكون عناصر أثقل من الهيليوم؛ لأنه مع التمدد سرعان ما انخفضت درجة حرارته على نحو منع حدوث أي اندماج نووي.

(٤) يقول ستيفن هوكينج إن نظرية الجاذبية الأرضية حوت بذور دمارها، وذلك على شكل الثقوب السوداء؛ لأن هذه الثقوب تضم نقطة تفرد ذات حرارة وكثافة لانهائية. يمثل نموذج الانفجار العظيم مشكلة مماثلة لعلم الكونيات؛ لأن التمدد يرجع في تاريخه إلى حالة تتسم بكثافة ودرجة حرارة لانهائية، فضلًا عن أنه لا يمكن استخدام نظرية النسبية العامة التي تصف التمدد لتقدير حالة الكون الأولية.

(٥) تضع نظرية النسبية الخاصة حدًّا لسرعة الضوء فيما يتعلق بانتقال أي إشارة بين جزأين متجاورين للكون، وهو ما يسميه علماء الفيزياء بإطار القصور الذاتي، لكن الكون يخضع لنظرية النسبية العامة التي لا تضع أي حدود للسرعة؛ فبمقدور أي جزء من الكون التحرك بعيدًا عن أي جزء آخر بسرعة أكبر من سرعة الضوء، ونتيجة لذلك فإن الفوتونات المنبعثة من هذين المكانين تجاه المنتصف سوف تتقهقر فعليًّا.

(٦) من الأدق أن نفكر في الانفجار العظيم على أنه محدد من حيث الزمان وليس المكان. فليس بمقدورنا أن نرى إلا المناطق التي تسنى لضوئها الوصول إلينا عبر تاريخ الكون منذ حدوث الانفجار العظيم. ولا يوجد ما يجعلنا نسقط من حسابنا وجود مناطق أخرى من الفضاء تقع فيما وراء النطاق الحالي لأجهزة التليسكوب الخاصة بنا.

(٧) إن قياسات أحجام المجرات والنجوم الزائفة وإشعاع الخلفية الميكروني الكوني تتأثر بالشكل الهندسي المحلي، وقد لا يكون الشكل الهندسي الشامل قابلًا للقياس، ومن ثم من المهم أن يوجد دافع نظري وراء ما نبحث عنه. ومن أجل تسهيل حساب وتقدير حجم الكون، يميل علماء الرياضيات إلى افتراض أن الكون شكل منحنٍ مكتمل، أو فضاء يمكن أن تتصل فيه أي نقطتين بالأخرى عن طريق أقصر المسارات. أما الفضاء الذي يحتوي على شقوق تسمى بالعيوب الطوبولوجية، فربما لا يكون قابلًا للحساب. ولا تعد الأسطوانات وكرة القدم والبوق أشكالًا اعتباطية؛ إذ إنها تتسم بدرجة عالية من التجانس وتتوافق مع الأشكال الأساسية ثلاثية الأبعاد ذات الانحناء الموجب والسالب.

(٨) تُعرف الجسيمات العادية، مثل البروتونات والنيوترونات، باسم الباريونات، وهي كلمة مشتقة من اللغة الإغريقية وتعني الثقيل. وجرى التنبؤ بعدد الباريونات من خلال نظرية الانفجار العظيم، لكن ١٠ بالمائة فقط من الأعداد التي جرى التنبؤ بها وجدت في جميع المجرات البالغ عددها ٥٠ مليار مجرة وفي جميع النجوم التي تدور حولها داخل الكون القابل للرصد، ومن المحتمل أن توجد معظم الباريونات المتبقية في الغازات مرتفعة الحرارة والمنتشرة في الفضاء الشاسع بين المجرات.

(٩) فيما يتعلق بالطاقة المظلمة، كان أكبر المخاوف أن يكون استخدام المستعرات العظمى كمصابيح ضوئية قياسية أمرًا خاطئًا، فنظرًا لأن المستعرات العظمى البعيدة تظهر — على نحو غير متوقع — معتمة، كان هناك احتمال أن يكون الغبار الموجود في الفضاء الواسع بين المجرات هو ما يجعلها معتمة، لكن مع الملاحظات المتأنية ثبت أن المستعرات العظمى لا يظهر بها الاحمرار الإضافي المتوقع نتيجة لوجود الغبار. ثمة احتمالية أخرى تدعو للخوف وهي حدوث تغيير على مدار الوقت في آلية الطاقة المرتبطة بالمستعرات العظمى، وربما يرجع ذلك إلى أن الغاز يجري إثراؤه باستمرار بالعناصر الثقيلة؛ لكن لم يلحظ أي شخص أي إشارة على سلوك مستغرب للمستعرات العظمى، ومن ثم لا تزال هذه الأنواع من الانفجارات تُستخدم كأفضل وسيلة متوفرة لحساب التمدد الكوني.

(١٠) إم بوشا، إيه إيفرارد، إف آدامز، «الشكل المقارب للبنى الكونية: تاريخ التراكم والقوة صغيرة النطاق»، العدد ٦٦٥ من مجلة «ذي أستروفيزيكال جورنال» (٢٠٠٧)، صفحة ١.

(١١) ذكر علماء الكونيات باهتمام شديد حقيقة أن هناك مصادفة توقيت فيما يتعلق بالتحول الذي وقع حديثًا للكون من حالة التمدد البطيء إلى حالة التمدد المتسارع، وقد حدث ذلك في وقت قريب نسبيًّا؛ منذ فترة تُقدر بأقل من نصف عمر الكون. تمثلت النتيجة الطبيعية لذلك في أن الطاقة المظلمة والمادة المظلمة أصبحتا متقاربتين في الحجم وكذلك في التأثير بمقدار معامل قيمته ٣؛ أي إن تأثير إحداهما مقارب للأخرى، وخاصةً إذا ما أخذنا في الاعتبار أساسهما الفيزيائي الجوهري المختلف. ولو كانت الطاقة المظلمة أكبر حجمًا، لتمدد الكون على نحو أسرع بكثير وما تكونت أي بنى كونية، ومن ثمَّ ما كانت الحياة البيولوجية لتنشأ أيضًا.

(١٢) آر كالدويل، إم كاميونكوسكي، إن واينبرج، «الطاقة الشبحية: تتسبب الطاقة المظلمة الأقل من −١ في نهاية الكون»، العدد ٩١ من مجلة «فيزيكال ريفيو ليترز» العلمية (٢٠٠٣)، صفحة ٧١٣٠١.

(١٣) حديث صحفي في صحيفة «نيويورك تايمز» أجراه دينيس أوفرباي، ١٦ ديسمبر ٢٠٠٨.

(١٤) لم يجْرِ بعدُ رصد تبخر الثقوب السوداء، ويُذكر أن جميع الثقوب السوداء المعروفة — التي يتراوح حجمها من ثقوب صغيرة الحجم تماثل النجوم في حجمها إلى أخرى هائلة الحجم توجد في مراكز المجرات — محاطة بغاز ساخن ونجوم، فضلًا عن أن الكثير منها يزيد من سرعة المادة لتصل إلى مستويات هائلة من الطاقة. نتيجة لكل هذا النشاط، قد يكون اكتشاف الآثار الدقيقة الدالة على إشعاع هوكينج دربًا من المستحيل ما لم نكن موجودين بالقرب من أفق الحدث.

الفصل الثاني عشر: ما بعد النهايات

(١) من الصعب التحقق من الحالة المعرفية للمفاجأة، ربما تعترينا المفاجأة تجاه إحدى سمات العالم الطبيعي نظرًا لأن نظرياتنا وشروحنا تشوبها العيوب، وأدت بنا إلى الاتجاه الخاطئ. ربما تعترينا المفاجأة لأننا لم نستوعب جميع النتائج الطبيعية للنظريات الناجحة التي توصلنا إليها. ربما تعترينا المفاجأة لأن نظرياتنا شملت ظواهر كانت خارج عالم التجربة العادية تمامًا. إن المفاجأة لا تنطوي بالضرورة على معنى صعب وأعمق أو تشير إلى نظرية جديدة تمامًا.

(٢) مايكل فراين، «اللمسة الإنسانية» (نيويورك: هنري هولت، ٢٠٠٦).

(٣) جي بارو، إف تيبلر، جي ويلر، «المبدأ الإنساني الكوني» (أكسفورد، إنجلترا: جامعة أكسفورد، ١٩٨٨).

(٤) ستيفن واينبرج، حسبما ورد في بحث عنوانه «التحدث من منظور الطبيعة: معيار الطبيعية والفيزياء في مصادم الهادرونات الكبير»، أرشيف الإنترنت: ٠٨٠١,٢٥٦٢.

(٥) مارتن ريس، «قبل البداية: كوننا والأكوان الأخرى» (نيويورك: سايمون آند شوستر، ١٩٩٧).

(٦) ستيفن واينبرج في خطابه الافتتاحي الذي قدمه بندوة عنوانها «توقعات نظرية نهائية» أقيمت بجامعة كامبريدج عام ٢٠٠٥، ونشر الخطاب في كتاب عنوانه «كون

واحد أم متعدد؟» تحرير بي كار (كامبريدج، إنجلترا: جامعة كامبريدج، ٢٠٠٦). ومع ذلك تزايد الشك بشأن صحة نظرية الأوتار وفكرة الكون المتعدد وقوتهما التنبئية، على نحو ما استشهد به كمثال في كتاب عنوانه «فشل نظرية الأوتار والبحث عن الوحدة في القانون الفيزيائي» (نيويورك: بيزيك بوكس، ٢٠٠٦). ويصل التيار المتزايد إلى حد رد الفعل المعادي للتفاؤل الطائش لواضعي نظرية الأوتار.

(٧) مأخوذ من محضر جلسة نقاشية عنوانها «كون واحد أم متعدد؟» أقيمت بجامعة ستانفورد في ٢٦ مارس ٢٠٠٣ حسبما حررها بيتر تشو في موقع WisdomPortal.com.

(٨) فريمان دايسون، «زمن بلا نهاية: الفيزياء والأحياء في كون مفتوح»، العدد ٥١ من دورية «ريفيوز أوف مودرن فيزيكس»، صفحة ٤٤٧.

(٩) بي شتاينهارت، إن توروك، «نموذج دوري للكون»، العدد ٢٩٦ من مجلة «ساينس» (٢٠٠٢)، صفحة ١٤٣٦.

(١٠) إس لويد، «القيود الفيزيائية النهائية على الحوسبة»، العدد ٤٠٦ من مجلة «نيتشر» (٢٠٠٠)، صفحة ١٠٤٧.

قائمة المراجع

Numbers in parentheses refer to corresponding chapters in this book.

Adams, Fred, and Greg Laughlin. *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity.* New York: Free Press, 1997. (9)

Barrow, John, and Frank Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle.* Oxford: Oxford University Press, 1986. (12)

Beech, Martin. *Terraforming: The Creating of Habitable Worlds.* New York: Springer, 2009. (8)

Benton, Michael. *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time.* London: Thames and Hudson, 2005. (6)

Berinstein, Paula. *Making Space Happen: Private Space Ventures and the Visionaries Behind Them.* Medford, NJ: Plexus, 2002. (8)

Blackmore, Susan. *Dying to Live.* Buffalo, NY: Prometheus, 1993. (1)

Boyd, Robert, and Joan Silk. *How Humans Evolved.* 4th ed. New York: W. W. Norton, 2005. (3)

Buettner, Dan. *The Blue Zones: Lessons for Living Longer from the People Who've Lived the Longest.* Washington, DC: National Geographic, 2008. (1)

Carr, Bernard, ed. *Universe or Multiverse?* Cambridge, England: Cambridge University Press, 2007. (12)

Carroll, Sean. *Endless Forms Most Beautiful: The New Science of Evo-Devo and the Making of the Animal Kingdom.* New York: W. W. Norton, 2005. (3)

Casoli, Fabienne, and Thérèse Encrenaz. *The New Worlds: Extrasolar Planets.* Berlin: Springer, 2005. (7)

Cheeta. *Me Cheeta: The Autobiography.* London: Fourth Estate Ltd., 2008. (1)

Cohen, Jack, and Ian Stewart. *What Does a Martian Look Like?: The Science of Extraterrestrial Life.* Hoboken, NJ: Wiley, 2002. (8)

Collins, Harry. *Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves.* Chicago: University of Chicago Press, 2004. (10)

Dawkins, Richard. *The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution.* Boston: Mariner Books, 2005. (3)

Diamond, Jared. *The Third Chimpanzee: The Evolution and Future of the Human Animal.* New York: Harper Perennial, 2006. (4)

Dixon, Dougal. *The Future Is Wild.* Buffalo, NY: Firefly, 2003. (4)

Dow, Kirstin, and Thomas Downing. *The Atlas of Climate Change: Mapping the World's Greatest Challenge.* Berkeley, CA: University of California Press, 2007. (5)

Enright, D. J., ed. *The Oxford Book of Death.* Oxford: Oxford University Press, 1983. (2)

Ferris, Timothy. *Coming of Age in the Milky Way.* New York: Harper Perennial, 2003. (9)

Finch, Caleb. *The Biology of Human Longevity.* Burlington, MA: Elsevier, 2007. (2)

Garreau, Joel. *Radical Evolution: The Promise and Peril of Enhancing Our Minds, Our Bodies—and What It Means to Be Human.* New York: Broadway, 2006. (4)

Golub, Leon, and Jay Pasachoff. *Nearest Star: The Surprising Science of Our Sun.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 2002. (6)

Greene, Brian. *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory.* New York: W. W. Norton, 1999. (12)

Hawking, Stephen. *Illustrated Theory of Everything: The History and Fate of the Universe.* Beverley Hills, CA: Phoenix Books, 2009. (11)

Hazen, Robert. *Genesis: The Scientific Quest for Life's Origins.* Washington, DC: Joseph Henry Press, 2005. (3)

Kaku, Michio. *Parallel Worlds: A Journey Through Creation, Higher Dimensions, and the Future of the Cosmos.* New York: Doubleday, 2004. (12)

Kearl, Michael. *Endings: A Sociology of Death and Dying.* Oxford: Oxford University Press, 1989. (1)

Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology.* New York: Penguin, 2006. (4)

Largo, Michael. *Final Exits: The Illustrated Encyclopedia of How We Die.* New York: HarperCollins, 2006. (1)

Levy, David. *Shoemaker by Levy: The Man Who Made an Impact.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002. (7)

Lovelock, James. *The Revenge of Gaia: Earth's Climate Crisis and the Fate of Humanity.* New York: Basic Books, 2006. (5)

Lunine, Jonathan, and Cynthia Lunine. *Earth: Evolution of a Habitable World.* Cambridge, England: Cambridge University Press, 1998. (5)

Mayr, Erst. *What Makes Biology Unique?* Cambridge, England: Cambridge University Press, 2004. (3)

Melia, Fulvio. *The Edge of Infinity: Supermassive Black Holes in the Universe.* Cambridge, England: Cambridge University Press, 2003. (9)

Mitchell, Stephen. *Gilgamesh: A New English Version.* New York: Free Press, 2006. (2)

Plait, Phillip. *Death from the Skies!: These Are the Ways the World Will End.* New York: Penguin, 2008. (7)

Posner, Richard. *Catastrophe: Risk and Response.* Oxford: Oxford University Press, 2005. (6)

Preston, Richard. *The Hot Zone: A Terrifyingly True Story.* New York: Anchor, 1999. (6)

Rees, Martin. *Our Final Hour: A Scientist's Warning.* New York: Basic Books, 2003. (6)

Rees, Martin. *Just Six Numbers: The Forces That Shape Our Universe.* New York: Basic Books, 2000. (11)

Schmidt, Stanley, and Robert Zubrin, eds. *Islands in the Sky: Bold New Ideas for Colonizing Space.* New York: Bantam Doubleday, 1996. (10)

Schrodinger, Edwin, and Roger Penrose. *What Is Life?* Cambridge, England: Cambridge University Press, 1992. (3)

Singh, Simon. *Big Bang.* New York: HarperCollins, 2004. (11)

Steinhardt, Paul, and Neil Turok. *Endless Universe: Beyond the Big Bang.* New York: Doubleday, 2007. (11)

Taylor, Travis, and Bob Boan. *An Introduction to Planetary Defense: A Study of Modern Warfare Applied to Extraterrestrial Invasion.* Boca Raton, FL: Brown Walker, 2006. (10)

Tipler, Frank. *The Physics of Immortality: Modern Cosmology, God, and the Resurrection of the Dead.* New York: Random House, 1994. (2)

Waller, William, and Paul Hodge. *Galaxies and the Cosmic Frontier.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 2003. (9)

Ward, Peter. *Under a Green Sky: Global Warming, the Mass Extinctions of the Past, and What They Can Tell Us About Our Future.* New York: Collins, 2008. (6)

Ward, Peter, and Donald Brownlee. *The Life and Death of Planet Earth: How the New Science of Astrobiology Charts the Ultimate Fate of Our World.* New York: Henry Holt, 2002. (5)

Ward, Peter, and Donald Brownlee. *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe.* New York: Springer, 2000. (7)

Webb, Stephen. *If the Universe Is Teeming With Aliens … Where Is Everybody? Fifty Solutions to Fermi's Paradox and the Problem of Extraterrestrial Life.* New York: Springer, 2002. (10)

Wharton, David. *Life at the Limits: Organisms in Extreme Environments.* Cambridge, England: Cambridge University Press, 2007. (4)

Young, Simon. *Designer Evolution: A Transhumanist Manifesto.* Amherst, NY: Prometheus, 2006. (8)

Zubrin, Robert. *Entering Space: Creating a Spacefaring Civilization.* New York: Tarcher, 2000. (8)